

TUGAS AKHIR - TM 141585

**PENGEMBANGAN DAN ANALISIS KARAKTERISTIK
HYDRO-MAGNETO-ELECTRIC REGENERATIVE
SHOCK ABSORBER (HMERSA) DENGAN DUA
GENERATOR HIDRAULIS TERPASANG SERI**

RONI YANDAKA
NRP 2113 100 151

Dosen Pembimbing
Dr. Harus Laksana Guntur, ST., M.Eng.

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018



TUGAS AKHIR – TM141585

**PENGEMBANGAN DAN ANALISIS KARAKTERISTIK
HYDRO-MAGNETO-ELECTRIC REGENERATIVE
SHOCK ABSORBER (HMERSA) DENGAN DUA
GENERATOR HIDRAULIS TERPASANG SERI**

RONI YANDAKA
NRP. 2113100151

Dosen Pembimbing:
Dr. Harus Laksana Guntur, ST., M.Eng.

PROGRAM SARJANA
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018



FINAL PROJECT – TM141585

**DEVELOPMENT AND CHARACTERISTIC
ANALYSIS OF HYDRO-MAGNETO-ELECTRIC
REGENERATIVE SHOCK ABSORBER USING TWO
HYDRAULIC GENERATOR**

RONI YANDAKA
NRP. 2113100151

Advisory Lecturer
Dr. Harus Laksana Guntur, ST., M.Eng.

BACHELOR PROGRAM
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2018

**PENGEMBANGAN DAN ANALISIS
KARAKTERISTIK *HYDRO-MAGNETO-ELECTRIC*
REGENERATIVE SHOCK ABSORBER (HMERSA)
DENGAN DUA GENERATOR HIDRAULIS
TERPASANG SERI**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

RONI YANDAKA
NRP. 2113 100 151

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Eng. Harus Laksana Guntur, ST, (Pembimbing)
M.Eng
NIP. 197505111999031001
2. Dr. Wiwiek Hendrowati, ST, MT (Penguji I)
NIP. 197004121997032003
3. Aida Annisa Amin Daman, ST, MT (Penguji II)
NIP. 198907052015042005
4. Ir. Julendra B. Ariatedja, MT (Penguji III)
NIP. 196807061999031004

SURABAYA

MARET, 2018

**PENGEMBANGAN DAN ANALISIS
KARAKTERISTIK *HYDRO-MAGNETO-ELECTRIC
REGENERATIVE SHOCK ABSORBER* (HMERSA)
DENGAN DUA GENERATOR HIDRAULIS
TERPASANG SERI**

Nama : Roni Yandaka
NRP : 2113100151
Departemen : Teknik Mesin ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Harus Laksana Guntur,
S.T. M. Eng.

Abstrak

The official U.S. government source for fuel economy information meyakini, hanya sekitar 14%-30% energi yang digunakan untuk menggerakkan kendaraan dan sisanya terbuang begitu saja. Untuk mengatasi masalah tersebut, peneliti dari MIT telah mengembangkan shock absorber menjadi Regenerative Shock Absorber (RSA). Beberapa peneliti dari Teknik Mesin ITS juga telah mengembangkan salah satu jenis RSA, yaitu Hydraulic Motor Regenerative Shock Absorber (HMRSA). Pengembangan tersebut meliputi pemodelan dan analisis pengaruh variasi tekanan awal akumulator terhadap respon dinamis dan energi bangkitan pada sistem Hydraulic Motor Regenerative Shock Absorber (HMRSA).

Tugas akhir ini akan mengembangkan sistem RSA dengan maksud menyederhanakan sistem HMRSA dan menghasilkan energi bangkitan yang lebih maksimal. Nama alat pada tugas akhir ini adalah Hydro Magneto Electric Regenerative Shock Absorber (HMERSA) karena terdapat perubahan pada sistem motor dan generatornya. Sistem HMERSA tersebut diaplikasikan pada model seperempat kendaraan. Pemakaian dua generator hidraulis terpasang seri menjadi komponen penting untuk menggantikan motor hidraulis dan generator yang terpisah pada

penelitian sebelumnya. Dengan dimensi yang lebih kecil dan menggabungkan blade motor dengan generator menjadi satu poros, membuat losses yang terjadi antara motor dan generator hilang dan menghemat tempat. Check valve digunakan pada setiap pipa yang terhubung dengan silinder shock absorber agar aliran fluida yang masuk ke dalam generator hidraulis menjadi searah. Simulasi sistem HMERSA seperempat kendaraan menggunakan software MATLAB Simulink. Grafik yang diperoleh adalah grafik gaya redam terhadap perpindahan dan kecepatan Bergeraknya shock absorber. Perancangan dan dimensi HMERSA berdasarkan kesesuaian dari grafik gaya redam antara Conventional Shock Absorber dan HMERSA. Input yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah bump modified. Pengujian menggunakan kendaraan angkutan barang jenis Pick-up. Pengujian pada kendaraan angkut dilakukan dengan variasi kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam. Grafik respon percepatan yang dihasilkan dibandingkan antara Conventional Shock Absorber dengan HMERSA.

Hasil simulasi menunjukkan nilai gaya redam terbesar ada pada sistem HMERSA pada setiap kecepatan yang di input. Sistem HMERSA yang lebih sederhana, dan memakai dua generator seri dapat mengurangi losses pada pipa dan menghasilkan energi listrik (kWh) bangkitan yang lebih besar dari penelitian sebelumnya. Penelitian ini membuktikan bahwa semakin besar kecepatan kendaraan saat melewati bump berakibat pada naiknya respon percepatan dan meningkatnya energi bangkitan yang mampu dihasilkan sistem HMERSA. Nilai tegangan bangkitan terbesar yang dapat dihasilkan generator saat pengujian adalah 13.51 V.

Kata kunci: *Regenerative Shock Absorber (RSA)*, karakteristik gaya redam kendaraan, model dinamis, gaya redam, daya listrik bangkitan

DEVELOPMENT AND CHARACTERISTIC ANALYSIS OF HYDRO-MAGNETO-ELECTRIC REGENERATIVE SHOCK ABSORBER USING TWO HYDRAULIC GENERATOR

Name : Roni Yandaka
NRP : 2113100151
Departement : Mechanical Engineering
Advisory Lecturer : Dr. Eng. Harus Laksana Guntur,
S.T. M. Eng.

Abstract

The official U.S government source for fuel economy information declared only about 14%-30% energy which is used to drive the vehicle than the rest is wasted. MIT has developed shock absorber to Regenerative Shock Absorber (RSA) to resolved the issue. Some researcher of ITS Mechanical Engineering had developed one of type RSA that is Hydraulic Motor Regenerative Shock Aborber (HMRSA). Development is about modeling and analyzing variation influence of starting pressure in accumulator on dynamic response and energy generation in Hydraulic Motor Regenerative Shock Absorber (HMRSA) system.

The purpose of this final project is to develop RSA system get simple, also to produce much more energy generation. This instrument named Hydro Magneto Electric Regenerative Shock Absorber (HMERSA) caused by changed of motor and generator components. HMERSA system applied to a quarter car model. Used of two series hydraulic generator be important component to replace separate hydraulic motor and generator in previous research. Smaller dimension and integrate motor blade with generator in one axis makes it have no losses and save space. Check valve used on each connected pipe with cylinder of shock absorber in order that fluid flow into hydraulic generator

becomes one way. Simulation of quarter car HMERSA system used MATLAB Simulink software. The output is graph of damping force to displacement and speed of shock absorber. Designing and dimension of HMERSA was based on conformity of damping force graph between Conventional Shock Absorber and HMERSA. This final project used bump input. The vehicle used for the testing is a freight vehicle, which is Suzuki Carry pick-up. The test is conducted with the vehicle velocity of 10 km/h, 15 km/h, and 20 km/h. Then result of acceleration response will be compared between Conventional Shock Absorber and HMERSA.

The simulation result showed HMERSA system has the higher damping force value than Conventional Shock Absorber on each velocity variation. The more efficient HMERSA with series of generators can reduce losses on pipe and produce more electrical energy (kWh) generation than previous research. This research prove that higher velocity of the vehicle results shown higher acceleration response of shock absorber and increased energy generation produce by HMERSA system. The highest voltage output can be produce by generator 1 during the experiment is 13.51 V at 20 km/h.

Key words: characteristic of vehicle damping force, damping force, dynamic model, electrical energy generation, Regenerative Shock Absorber (RSA)

KATA PENGANTAR

Puji syukur dihaturkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, hanya karena berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan pendidikan Sarjana S-1 di Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penyusunan Tugas Akhir ini dapat terlaksana dengan baik atas bantuan dan kerjasama dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua penulis, Bapak Sugiantoro dan Ibu Velly yang senantiasa mendoakan, mendorong, dan menyemangati penulis.
2. Saudara kandung penulis, Denny dan Andi yang selalu mendoakan dan menjadi semangat penulis untuk segera menyelesaikan studinya.
3. Dr. Harus Laksana Guntur, ST.M.Eng yang selalu memberikan bimbingan dan arahan dalam penulisan Tugas Akhir ini.
4. Dr. Wiwiek Hendrowati, ST, MT., Ir. Julendra B. Ariatedja, MT, dan Aida Annisa A.D., ST., MT. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan kritik kepada penulis tentang Tugas Akhir ini.
5. Segenap dosen dan karyawan Jurusan Teknik Mesin FTI ITS, atas ilmu yang telah diberikan kepada penulis selama ini.
6. Teman-teman PLH SIKLUS ITS yang begitu banyak menginspirasi, menjadi tempat mengasah pola pikir, dan belajar hidup, serta berkarya.
7. Teman-teman angkatan M56 yang senantiasa memberi motivasi, menemani, dan meninggalkan banyak cerita indah bagi penulis selama 4 tahun ini.
8. Teman-teman Lab. Desain vibrasi dan Sistim Dinamis yang senantiasa menemani dan menghibur penulis saat sedang penat serta memberikan dukungan kepada penulis.

Dengan segala keterbatasan kemampuan serta pengetahuan penulis, tidak menutup kemungkinan Tugas Akhir ini jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis bersedia menerima kritik dan saran dari berbagai pihak untuk penyempurnaan lebih lanjut. Semoga hasil penulisan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Maret 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xvii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat	3

BAB II DASAR TEORI

2.1 Sistem Suspensi Hidraulis	5
2.2 Sistem Suspensi Regeneratif.....	6
2.2.1 Sistem Suspensi Hidraulik Regeneratif dengan akumulator dan reservoir	6
2.2.2 Shock Absorber Regeneratif Hibrida	9
2.2.3 Shock Absorber Regeneratif dengan Gear dan Kapasitor sebagai Penyerap Energi.....	10
2.2.4 Hydraulic Motor Regenerative Shock Absorber	13
2.3 Redaman	16
2.4 Persamaan Gerak Getaran dan Motion of Base	17
2.5 Persamaan Pada Mekanisme Hidrolik	19
2.5.1 Persamaan Bernoulli	19
2.5.2 Konservasi Massa pada Mekanika Fluida.....	21
2.5.3 Head Loss.....	21
2.6 Motor Hidrolik.....	28
2.7 Generator DC.....	28

2.8 Relative Motion of Base 31

BAB III METODOLOGI

3.1 Metode Penelitian	33
3.2 Studi Literatur	34
3.3 Pemodelan dan Simulasi Sistem	35
3.3.1 Pemodelan Dinamis <i>Conventional Shock Absorber</i>	35
3.3.2 Pemodelan Dinamis Sistem <i>Conventional shock absorber</i> pada ¼ Kendaraan	38
3.3.3 Pembuatan Blok Diagram dan Simulasi <i>Conventional Shock Absorber</i>	40
3.3.4 Cara Kerja dan Pemodelan HMERSA	40
3.3.5 Pemodelan Dinamis <i>Regenerative Shock Absorber</i> Pada ¼ Kendaraan	45
3.3.6 Pembuatan Diagram Blok dan Analisa Grafik	46
3.4 Pembuatan Prototipe	47
3.4.1 Perancangan dan Pemasangan HMERSA pada ¼ kendaraan	47
3.4.2 Pengujian dan Pengambilan Data pada Kendaraan	49
3.4.3 Analisa Hasil Pengujian	50

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Simulasi pada Software MATLAB Simulink.....	53
4.1.1 Parameter Simulasi.....	53
4.1.2 Simulasi <i>Conventional shock absorber</i> dengan Variasi Input Frekuensi.....	53
4.1.3 Simulasi Sistem HMERSA dengan Variasi Input Frekuensi.....	56
4.1.4 Perbandingan Hasil Simulasi <i>Conventional shock absorber</i> dengan Sistem HMERSA	63
4.2 Perancangan dan Pengembangan Prototipe HMERSA..	67

4.3 Pengujian Sistem CSA dan HMERSA pada Kendaraan Angkut	72
4.3.1 Pemasangan Sistem HMERSA pada Kendaraan Angkut.....	73
4.3.2 Instalasi Peralatan Pengambilan Data	76
4.3.3 Pengambilan Data	80
4.4 Analisis Hasil Pengambilan Data	80
4.4.1 Analisis Respon Percepatan <i>Conventional shock absorber</i>	80
4.4.2 Perbandingan Respon Percepatan <i>Conventional shock absorber</i> dengan Variasi Kecepatan Kendaraan	83
4.4.3 Analisis Respon Percepatan 1 <i>Cycle</i> HMERSA	85
4.4.4 Perbandingan Respon Percepatan 1 <i>Cycle</i> HMERSA dengan Variasi Kecepatan Kendaraan....	87
4.4.5 Analisis Respon Percepatan 2 <i>Cycle</i> HMERSA	88
4.4.6 Perbandingan Respon Percepatan 2 <i>Cycle</i> HMERSA dengan Variasi Kecepatan Kendaraan....	91
4.4.7 Perbandingan Respon Percepatan <i>Conventional shock absorber</i> dengan 1 <i>Cycle</i> HMERSA dan 2 <i>Cycle</i> HMERSA pada Kecepatan 10 km/jam	92
4.4.8 Perbandingan Respon Percepatan <i>Conventional shock absorber</i> dengan 1 <i>Cycle</i> HMERSA dan 2 <i>Cycle</i> HMERSA pada Kecepatan 15 km/jam	94
4.4.9 Perbandingan Respon Percepatan <i>Conventional shock absorber</i> dengan 1 <i>Cycle</i> HMERSA dan 2 <i>Cycle</i> HMERSA pada Kecepatan 20 km/jam	95
4.4.10 Analisis Tegangan Bangkitan pada sistem 1 <i>Cycle</i> HMERSA.....	97
4.4.11 Analisis Tegangan Bangkitan pada sistem 2 <i>Cycle</i> HMERSA.....	100
4.4.12 Perbandingan Tegangan Bangkitan 1 <i>Cycle</i> HMERSA dan 2 <i>Cycle</i> HMERSA pada Kecepatan	

10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam pada Generator 2.....	104
--	-----

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	109
5.2 Saran.....	110

DAFTAR PUSTAKA	113
----------------------	-----

BIODATA PENULIS	115
-----------------------	-----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Hydraulic shock absorber</i> ^[3]	5
Gambar 2.2	Skema suspensi hidraulik regeneratif	6
Gambar 2.3	Model fisik suspensi hidraulik regeneratif ^[4] ...	7
Gambar 2.4	Skema diagram HEERS. A, B, dan C merupakan simpul dari pipa hidraulik (ditunjukkan dengan titik) ^[5]	8
Gambar 2.5	Pengaruh perbedaan diameter dalam pipa hidraulis ^[5]	9
Gambar 2.6	Model fisik shock absorber hibrida regeneratif ^[6]	10
Gambar 2.7	(a) <i>Rack and pinion regenerative shock absorber</i> , (b) model dinamis <i>Rack and pinion regenerative shock absorber</i> ^[7]	11
Gambar 2.8	Skema dari RSA ^[4]	12
Gambar 2.9	Grafik dari energi bangkitan yang dihasilkan oleh RSA ^[4]	13
Gambar 2.10	Konstruksi <i>hydraulic motor regenerative shock absorber</i> (HM RSA) ^[2]	14
Gambar 2.11	Profil jalan dengan input sinusoidal ^[2]	14
Gambar 2.12	Profil jalan dengan input bump yang dimodifikasi ^[2]	15
Gambar 2.13	Diagram stress-strain dari sebuah massa yang mempunyai material damping ^[9]	17
Gambar 2.14	Contoh sederhana dari sistem free vibration with damping ^[9]	18
Gambar 2.15	Contoh sederhana dari sistem forced vibration with damping ^[9]	18
Gambar 2.16	Gambar seperempat bus ^[10]	19
Gambar 2.17	Penerapan hukum Bernoulli pada sebuah pipa ^[11]	20

Gambar 2.18	Ilustrasi untuk aliran dalam suatu kontrol volume ^[11]	21
Gambar 2.19	<i>Loss coefficient</i> untuk aliran melalui perubahan sudden area ^[11]	24
Gambar 2.20	<i>Representative total resistance</i> (L_e/D) untuk (a) pipa belokan (bend) dan siku bergelang (flanged elbow) 90° dan (b) belokan miter (miter bend) ^[11]	25
Gambar 2.21	Coefficient of Losses untuk kasus combining flow pada T-junction (a) tanpa dinding pemisah. (b) dengan dinding pemisah ^[11]	27
Gambar 2.22	Coefficient of losses pada dividing flow ^[11] ...	27
Gambar 2.23	(a) Dimensi generator hidraulis (b) Generator hidraulis tampak belakang	29
Gambar 2.24	Skema generator DC elektromagnetik	29
Gambar 2.25	Skema RL Circuit untuk Generator ^[11]	30
Gambar 2.26	Seperempat Kendaraan yang Melewati Jalanan Kasar ^[5]	32
Gambar 3.1	Diagram alir percobaan	33
Gambar 3.2	Pemodelan <i>Conventional shock absorber</i> sistem hidraulis	35
Gambar 3.3	Pemodelan dinamis <i>Conventional shock absorber</i>	38
Gambar 3.4	Sistem kerja HMERSA kondisi Kompresi	42
Gambar 3.5	Sistem kerja HMERSA kondisi Ekspansi	42
Gambar 3.6	Model dinamis HMERSA	43
Gambar 3.7	FBD untuk poros generator hidraulis	44
Gambar 3.8	Skema RL circuit untuk generator	45
Gambar 3.9	Pemodelan dinamis HMERSA pada ¼ kendaraan	45
Gambar 3.10	Model fisik HMERSA pada ¼ kendaraan	48

Gambar 3.11	Penempatan HMERSA pada seperempat kendaraan Suzuki Carry.....	49
Gambar 4.1	Grafik Gaya Redam Terhadap Perpindahan <i>Conventional shock absorber</i>	54
Gambar 4.2	Grafik Gaya Redam Terhadap Kecepatan <i>Conventional shock absorber</i>	55
Gambar 4.3	Grafik Gaya Redam Terhadap Perpindahan Sistem HMERSA.....	57
Gambar 4.4	Grafik Gaya Redam Terhadap Kecepatan Sistem HMERSA.....	57
Gambar 4.5	Grafik Perbandingan Simulasi (a) Tegangan Bangkitan Generator 1, (b) Tegangan Bangkitan Generator 2, (c) Arus Listrik Generator 1, (d) Arus Listrik Generator 2, (e) Daya Bangkitan Generator 1, (f) Daya Bangkitan Generator 1 pada sistem HMERSA	59
Gambar 4.6	Grafik Perbandingan Gaya Redam Terhadap Perpindahan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, (c) 20 km/jam.....	64
Gambar 4.7	Grafik Perbandingan Gaya Redam Terhadap Kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, (c) 20 km/jam.....	66
Gambar 4.8	Tabung shock absorber modifikasi (a) tampak depan (b) tampak bagian dalam, (c) piston shock absorber dengan tutup dan seal nya	68
Gambar 4.9	(a) Pengeboran tabung reservoir (b) saluran kompresi dan ekspansi yang terintegrasi.....	70
Gambar 4.10	Hasil perakitan HMERSA dan tegangan bangkitan (a) saat sebelum di pompa (b) saat di pompa	71

Gambar 4.11	Sistem HMERSA	72
Gambar 4.12	HMERSA yang Terpasang pada Kendaraan Angkut.....	74
Gambar 4.13	HMERSA yang terpasang di uji dengan menggoyang mobil dalam keadaan diam	75
Gambar 4.14	<i>Oscilloscope</i> Tektronix TBS1104	76
Gambar 4.15	<i>Converter</i> Tegangan DC ke AC.....	77
Gambar 4.16	<i>Inverter</i>	77
Gambar 4.17	<i>Probe Accelerometer</i>	78
Gambar 4.18	<i>Probe</i> Tegangan	78
Gambar 4.19	Instalasi Peralatan Pengambilan Data	79
Gambar 4.20	Grafik Respon Percepatan <i>Conventional shock absorber</i> Terhadap Waktu pada Kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, (c) 20 km/jam	82
Gambar 4.21	Grafik Perbandingan Respon Percepatan pada <i>Conventional shock absorber</i> (10 km/jam, 15 km/jam, 20 km/jam)	84
Gambar 4.22	Grafik Respon Percepatan Sistem 2 <i>Cycle</i> HMERSA Terhadap Waktu pada Kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, (c) 20 km/jam	86
Gambar 4.23	Grafik Perbandingan Respon Percepatan pada Sistem 1 <i>Cycle</i> HMERSA (10 km/jam, 15 km/jam, 20 km/jam)	88
Gambar 4.24	Grafik Respon Percepatan Sistem 2 <i>Cycle</i> HMERSA Terhadap Waktu pada Kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, (c) 20 km/jam	89
Gambar 4.25	Grafik Perbandingan Respon Percepatan pada Sistem 2 <i>cycle</i> HMERSA (10 km/jam, 15 km/jam, 20 km/jam)	92
Gambar 4.26	Grafik Perbandingan Respon Percepatan pada <i>Conventional shock absorber</i> dengan 1 <i>cycle</i>	

	HMERSA dan 2 <i>cycle</i> HMERSA (10 km/jam)	93
Gambar 4.27	Grafik Perbandingan Respon Percepatan pada <i>Conventional shock absorber</i> dengan 1 <i>cycle</i> HMERSA dan 2 <i>cycle</i> HMERSA (15 km/jam)	94
Gambar 4.28	Grafik Perbandingan Respon Percepatan pada <i>Conventional Shock Absorber</i> dengan 1 <i>cycle</i> HMERSA dan 2 <i>cycle</i> HMERSA (20 km/jam)	96
Gambar 4.29	Grafik Tegangan Bangkitan Terhadap Waktu 1 <i>Cycle</i> HMERSA pada Kecepatan (a) 10 km/jam generator 1, (b) 10 km/jam generator 2, (c) 15 km/jam generator 1, (d) 15 km/jam generator 2, (e) 20 km/jam generator 1, (f) 20 km/jam generator 2.....	97
Gambar 4.30	Grafik Tegangan Bangkitan Terhadap Waktu 2 <i>Cycle</i> HMERSA pada Kecepatan (a) 10 km/jam generator 1, (b) 10 km/jam generator 2, (c) 15 km/jam generator 1, (d) 15 km/jam generator 2, (e) 20 km/jam generator 1, (f) 20 km/jam generator 2.....	101
Gambar 4.31	Grafik Perbandingan Tegangan Bangkitan Terhadap Waktu pada 1 <i>Cycle</i> HMERSA (10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam).....	105
Gambar 4.32	Grafik Perbandingan Tegangan Bangkitan Generator 2 Terhadap Waktu pada 2 <i>Cycle</i> HMERSA (10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam).....	106

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Daya energi bangkitan yang dihasilkan dengan variasi amplitudo dan frekuensi ^[7]	12
Tabel 2.2	<i>Minor Loss Coefficient</i> untuk pintu masuk pada pipa ^[11]	23
Tabel 2.3	<i>Loss coefficient</i> untuk kontraksi bertahap: saluran bulat dan persegi panjang ^[11]	24
Tabel 2.4	<i>Representative dimensionless equivalent lengths</i> (Le/D) untuk katup dan fitting ^[11]	25
Tabel 3.1	parameter <i>Conventional shock absorber</i>	40
Tabel 3.2	Parameter HMERSA	47
Tabel 4.1	Perbandingan Simulasi Nilai Energi Bangkitan pada Sistem HMERSA	62
Tabel 4.2	Perbandingan Simulasi Gaya Redam <i>Conventional shock absorber</i> terhadap Sistem HMERSA	65
Tabel 4.3	Perbandingan Respon Percepatan Maksimum <i>Conventional shock absorber</i>	83
Tabel 4.4	Perbandingan Respon Percepatan Maksimum 1 Cycle HMERSA	87
Tabel 4.5	Perbandingan Respon Percepatan Maksimum 2 Cycle HMERSA	91
Tabel 4.6	Perbandingan Nilai Respon Percepatan pada <i>Conventional shock absorber</i> dengan 1 Cycle HMERSA dan 2 cycle HMERSA (10km/jam)	94
Tabel 4.7	Perbandingan Nilai Respon Percepatan pada <i>Conventional shock absorber</i> dengan 1 Cycle HMERSA dan 2 cycle HMERSA (15 km/jam)	95
Tabel 4.8	Perbandingan Nilai Respon Percepatan pada <i>Conventional shock absorber</i> dengan 1 Cycle HMERSA dan 2 cycle HMERSA (20 km/jam)	97

Tabel 4.9 Perbandingan Tegangan Bangkitan Maksimum Generator 2 antara Kompresi dan Ekspansi pada 1 cycle HMERSA (10 km/jam, 15 km/jam, 20 km/jam) 106

Tabel 4.10 Perbandingan Tegangan Bangkitan Maksimum Generator 2 antara Kompresi dan Ekspansi pada 2 cycle HMERSA (10 km/jam, 15 km/jam, 20 km/jam) 107

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Dewasa ini, kebutuhan energi setiap manusia semakin tidak sebanding dengan cadangan energi yang telah diprediksi berkurang setiap tahunnya. Peningkatan dan pengembangan efisiensi energipun banyak diminati oleh para peneliti untuk menjawab permasalahan krisis energi tersebut. Tak terkecuali pada bidang otomotif dimana hanya sekitar 14%-30% energi digunakan untuk menggerakkan kendaraan dan sisanya terbuang begitu saja. Sebesar 68% - 72% sebagai *engine losses*, 4% - 6% sebagai *parasitic losses*, 5% - 6% sebagai *drivetrain losses*, 3% sebagai *idle losses*.^[1]

Usaha untuk mencari pembaharuan energi pada kendaraan terus menerus dilakukan untuk menyerap sisa energi yang terbuang sia-sia. Perusahaan-perusahaan otomotif melakukan penelitian terkait dengan mekanisme kenaikan temperatur pada minyak peredam, optimasi *suspension part* dan desain sistem suspensi. Namun penelitian ini tidaklah efisien dikarenakan energi getaran yang dihasilkan oleh suspensi ditransformasikan menjadi panas yang mana panas tersebut terbuang ke lingkungan secara percuma. Audi AG Engineers melakukan penelitian dan pengembangan GenShock, sebuah *electrohydraulic regenerative shock absorber*. Sebuah analisis dari perusahaan ini menunjukkan bahwa 1 kW energi listrik dihasilkan dari 6 *shock absorber* pada truk besar pada jalan bebas hambatan, yang mana hal ini dapat menggantikan generator dari truk besar tersebut.

Beberapa mahasiswa Teknik Mesin ITS juga telah membuat salah satu jenis RSA (*Regenerative Shock Absorber*), yaitu *Hydraulic Motor Regenerative Shock Absorber* (HMRSA)^[2]. Pada penelitian tersebut RSA ditambahkan motor hidraulik dengan putaran yang searah. Untuk membuat putaran searah, digunakan *check valve*. Energi bangkitan yang dihasilkan

HMRSA tersebut pada saat frekuensi 1,5 Hz, yaitu sebesar 1.745 W dan energi tersebut dapat dimanfaatkan untuk mengisi aki pada mobil. Hasil dari eksperimen HMRSA sebelumnya memiliki energi bangkitan yang jauh dari hasil simulasi. Hal tersebut salah satunya dikarenakan banyaknya *losses* yang menyebabkan *pressure drop* pada motor hidrolik. Untuk penelitian kali ini, HMRSA akan dirancang agar lebih efisien secara tempat dan aliran energi agar dapat lebih maksimal menghasilkan energi. Terutama dalam sistem regeneratif yaitu dengan mengganti motor dan generator yang terpisah menjadi generator hidrolik dengan maksud mengurangi *losses* yang terjadi antara motor dengan generator. Pengembangan dan implementasi HMRSA dilakukan pada seperempat kendaraan pada Suzuki Carry. Perbaikan dari beberapa kendala yang dialami oleh peneliti sebelumnya juga akan dilakukan terutama dalam menghadapi kebocoran dan pergerakan fluida.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik gaya redam pada *Conventional Shock Absorber*?
2. Bagaimana karakteristik gaya redam pada HMRSA dengan satu generator hidrolik?
3. Bagaimana karakteristik gaya redam pada HMRSA dengan dua generator hidrolik terpasang seri?
4. Berapa besar energi listrik bangkitan yang dihasilkan sistem HMRSA dengan dua generator hidrolik terpasang seri pada seperempat kendaraan?

1.3. Batasan Masalah

Beberapa hal yang menjadi batasan dalam tugas akhir ini, yaitu:

1. Simulasi dan eksperimen dilakukan pada seperempat kendaraan (*quarter car*).

2. Kendaraan yang digunakan adalah *commercial vehicle* jenis pick-up.
3. Fluida kerja pada silinder hidrolik diasumsikan *incompressible flow*.

1.4. Tujuan

Adapun tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui karakteristik gaya redam pada *Conventional Shock Absorber*.
2. Mengetahui karakteristik gaya redam pada sistem HMERSA.
3. Mengetahui besar energi listrik bangkitan yang dihasilkan sistem HMERSA dengan dua generator hidrolik terpasang seri pada seperempat kendaraan.
4. Mengembangkan *prototype* HMERSA pada seperempat kendaraan.

1.5. Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan ini adalah:

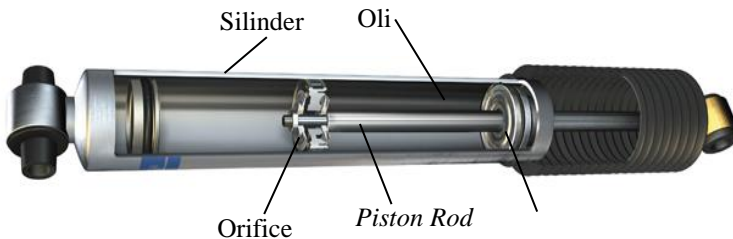
1. Berkembangnya sistem suspensi regeneratif yang sederhana untuk meningkatkan pemanfaatan energi terbuang
2. Memberikan data tentang karakteristik gaya redam dan energi listrik bangkitan pada sistem seperempat kendaraan dengan penambahan HMERSA.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II DASAR TEORI

2.1. Sistem Suspensi Hidraulis

Sistem suspensi memainkan peran penting pada gaya vertikal pada sebuah kendaraan. Sistem suspensi digunakan untuk meningkatkan kenyamanan berkendara serta pengendalian berkendara. Umumnya, sistem suspensi yang digunakan pada kendaraan angkut menggunakan sistem suspensi hidraulis. Gaya redam yang terjadi pada *shock absorber* pada suspensi konvensional bergantung pada *orifice compensation*, yang mana menyalurkan energi getaran ke minyak peredam. Energi getaran tersebut menghasilkan panas yang dilepas ke lingkungan melalui pipa.



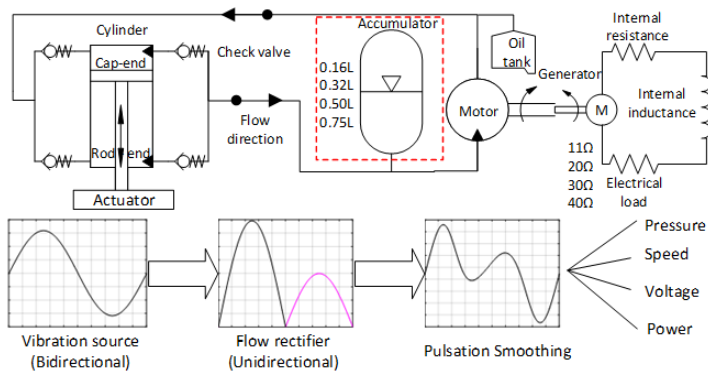
Gambar 2. 1 *Hydraulic shock absorber* ^[3]

Konstruksi umum dari sistem peredam hidraulis terdiri dari bagian silinder yang berfungsi penutup dan tempat pemasangan piston. Pada bagian dalam terdapat katup-katup yang berguna untuk mengalirkan fluida dari tabung atas ke tabung bawah^[3]. Untuk kendaraan, konstruksi peredam dibuat sedemikian sehingga saat langkah tekan, gaya peredaman dibuat minimal sedangkan saat langkah tarik, gaya peredaman dibuat maksimal. Alasannya, pada langkah tekan, massa *sprung* menghantam bumi, sesuai hukum Newton, maka gaya reaksi yang diterima badan kendaraan akan sepadan dengan aksi. Oleh sebab itu, diupayakan

gaya peredaman minimal saat kendaraan bergerak ke bawah supaya gaya yang diterima penumpang juga minimal. Sebaliknya, saat langkah tarik, kendaraan hanya menghantam udara. Oleh karena itu, tak akan ada reaksi berlebihan yang diterima penumpang.

2.2 Sistem Suspensi Regeneratif

2.2.1 Sistem Suspensi Hidraulik Regeneratif dengan akumulator dan reservoir



Gambar 2. 2 Skema suspensi hidraulik regeneratif ^[4]

Pada tahun 2016, Ruichen Wang, Fengshou Gu, Robert Cattley, dan Andrew D. Ball^[4] melakukan perancangan, pemodelan, dan analisis *shock absorber* hidrolik regeneratif dengan sistem gelombang sinusoidal. Hasil simulasi menunjukkan bahwa resistansi beban mempengaruhi untuk memberikan kecocokan optimal baik dalam nilai gaya redaman dan daya energi yang dihasilkan. Pengaruh akumulator pada sistem shock absorber hidrolik regeneratif menjadi sebagai sarana yang mengubah perilaku hidrolik dan pengoptimalan daya yang dapat dihasilkan. Output daya dari fasilitas yang dikembangkan berkisar 260 Watt dengan efisiensi daya 40% pada tekanan

mencapai 42 bar. Dari hasil pembuatan sistem ini, rekomendasi penggunaannya dapat aplikasikan pada kendaraan barang berat.

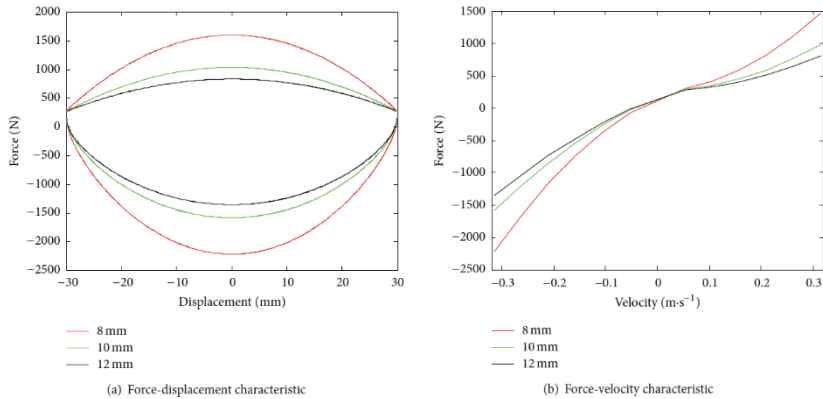
1. Hydraulic Cylinder 2, 3, 4, 5. Check Valve 6. Hose 7. Diaphragm Accumulator 8. Gerotor Hydraulic motor 9. Air Exhaust Valve 10. Permanent Magnetic Generator 11. 4-Post Simulator 12. Oil Tank 13. Power Electronic Load (Load Resistance)



Gambar 2. 3 Model fisik suspensi hidrolik regeneratif [4]

Untuk pemanfaatan getaran pada kendaraan bermotor saat melewati jalan yang tidak rata, pada tahun 2014, Han Zhang^[5] mendesain suspensi menjadi *Hydraulic-Electricity Energy Regenerative Suspension* (HEERS). HEERS ini terdiri dari beberapa komponen penting, yaitu silinder hidrolik, *check valve*, akumulator, motor hidrolik, pipa hidrolik, dan generator seperti pada gambar 2.3.

Pada saat simulasi, HEERS dipasang pada kendaraan tipe SUV. Berikut grafik yang dihasilkan simulasi HEERS dengan variasi diameter dalam pipa hidrolik.



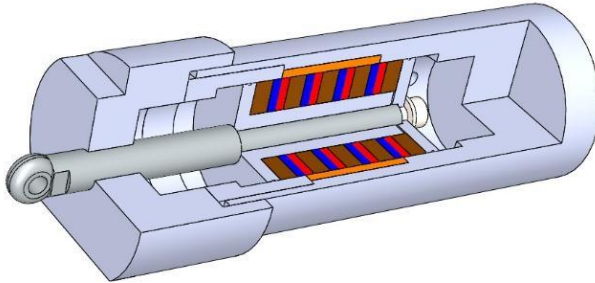
Gambar 2. 5 Pengaruh perbedaan diameter dalam pipa hidraulis^[5]

2.2.2 Shock Absorber Regeneratif Hibrida

Mustafa Demetgul dan Ismail Guney^[6] pada tahun 2017 melakukan penelitian berjudul “*Design of the Hybrid Regenerative Shock Absorber and Energy Harvesting from Linear Movement*”. Sistem peredam kejut regeneratif hibrida yang mengandung mekanisme peredam hidrolik dan elektromagnetik ini dirancang untuk menghasilkan listrik. Penyerapan energi diaplikasikan dari shock absorber regeneratif hibrida dengan eksitasi gerakan linier. Daya yang dihasilkan adalah sebesar 0,25W saat 0,004 m/s, 0,4W, saat 0,0045 m/s dan 0,66W saat 0,005 m/s energi tersebut diserap dengan 80 Ω resistor eksternal untuk bagian hidrolik dan 2 Ω untuk EM, pada amplitudo sebesar 15 mm sebagai respons terhadap eksitasi yang ditentukan. Penyerapan daya rata-rata pada kecepatan 0,005 m / s adalah dihitung sebagai 0,003W untuk koil dan sebagai 0,56W untuk generator. Penyerapan energi dapat dikatakan rendah untuk kecepatan yang diukur, namun jumlah tingkat energi yang dapat

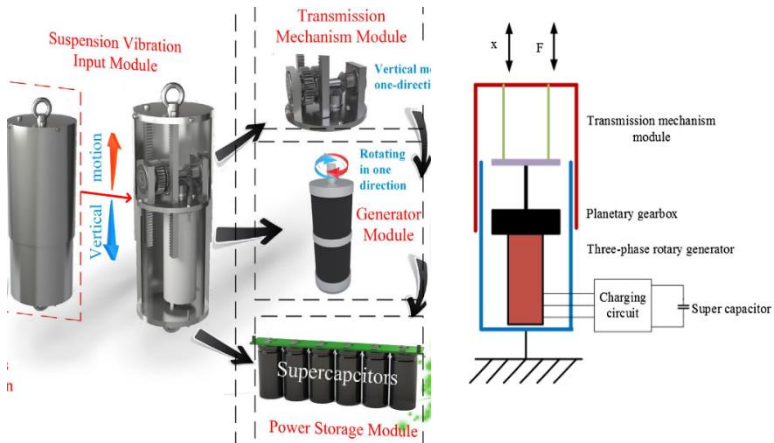
dipanen dan efisiensi meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan.

2.2.3 Shock Absorber Regeneratif dengan Gear dan Kapasitor sebagai Penyerap Energi



Gambar 2. 6 Model fisik *shock absorber* hibrida regeneratif [6]

Zang Zutau^[7] pada penelitiannya pada tahun 2016, mengemukakan bahwa energi yang dihasilkan dari *Regenerative Shock Absorber* (RSA) mampu untuk memanfaatkan energi yang terbuang yang ada dalam sistem suspensi kendaraan. Dalam penelitiannya *shock absorber* yang dia buat terdiri dari 4 komponen utama, yakni Modul input getaran *suspense*, modul transmisi, modul generator dan modul penyimpanan energi (gambar 2.3). Dalam penelitian tersebut Modul input getaran *suspense* digunakan untuk mendapatkan gerak linear naik turun menjadi gerak rotasi yang searah dengan poros input generator. Generator diarahkan ke satu arah untuk menghasilkan energi listrik dan mengkonversikan energi kinetik menjadi energi listrik.



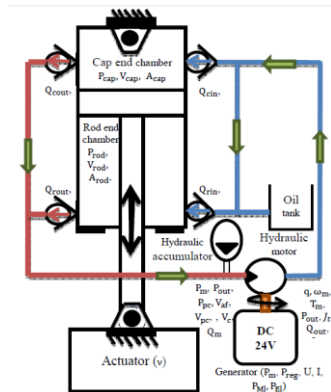
Gambar 2. 7 (a) *Rack and pinion regenerative shock absorber*, (b) model dinamis *Rack and pinion regenerative shock absorber* ^[7]

Dalam penelitian ini didapatkan karakteristik *damping* dari mobil penumpang. Pengukuran dilakukan pada 3 amplitudo yang bervariasi seperti dalam table 2.1. pada tabel tersebut menunjukkan bahwa energi regeneratif terbesar didapat pada amplitudo 7,5 mm dengan frekuensi getaran 2,5 Hz yakni sebesar 4,302 watt. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar amplitudo dan frekuensi getaran maka energi regeneratif yang dihasilkan akan semakin besar dan juga variabel redaman dapat dihasilkan dengan mengubah beban eksternal sehingga dapat diterapkan pada berbagai jenis kendaraan.

Tabel 2. 1 Daya energi bangkitan yang dihasilkan dengan variasi amplitudo dan frekuensi ^[7]

	1 Hz (W)	1.5 Hz (W)	2 Hz (W)	2.5 Hz (W)
2.5 mm	0.057	0.147	0.300	0.522
5 mm	0.273	0.555	1.113	1.995
7.5 mm	0.558	1.293	2.310	4.302

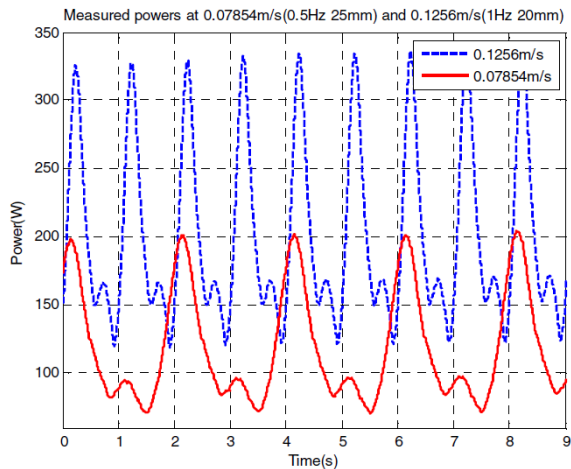
Shock absorber konvensional menggunakan fluida sebagai bahan untuk menghamburkan energi panas yang dihasilkan dari eksitasi antara kontur jalan dengan badan kendaraan dengan tujuan getaran yang terjadi menjadi lebih lembut. Pada saat terjadi eksitasi tersebut *shock absorber* mengalami tekanan sehingga hal tersebut dapat dimanfaatkan sebagai energi regeneratif seperti yang dilakukan Ruichen Wang dkk ^[4].



Gambar 2. 8 Skema dari RSA ^[4]

Pada saat pengujian, input yang digunakan yaitu input *sinusoidal*. Ada dua variasi untuk input *sinusoidal*, yaitu 0.0785

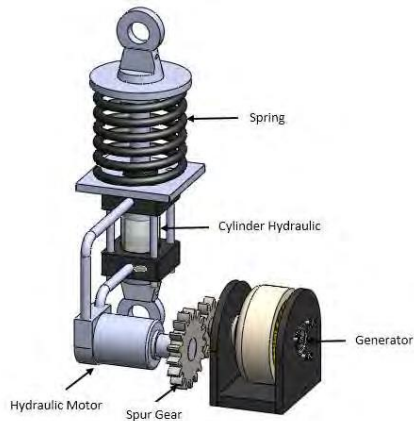
m/s saat 0.5 Hz (25 mm *stroke*) dan 0.1256 m/s saat 1 Hz (20 mm *stroke*). Besar energi bangkitan yang dihasilkan dari RSA tersebut (gambar 2.8) saat 0.07854 m/s dan 0.1256 m/s rata-rata sebesar 118,2 W dan 201,7 W.



Gambar 2. 9 Grafik dari energi bangkitan yang dihasilkan oleh RSA^[4]

2.2.4 Hydraulic Motor Regenerative Shock Absorber

Pada tahun 2015, Sawungsari^[2], salah satu mahasiswa Teknik Mesin ITS, Telah mensimulasikan *Hydraulic Motor Regenerative Shock Absorber* (HMRSA). Prinsip kerja dari alat ini adalah memanfaatkan energi kinetik pada gerakan suspensi kendaraan. Energi tersebut ditransfer ke sebuah motor hidrolik. Gaya yang ditransfer dari motor hidrolik kemudian ditransmisikan oleh susunan roda gigi yang berfungsi untuk meningkatkan putaran generator. Putaran generator tersebut akan menghasilkan energi bangkitan. Pada tugas akhir tersebut, dilakukan simulasi untuk sistem HMRSA dan sistem seperempat kendaraan dengan penambahan HMRSA.

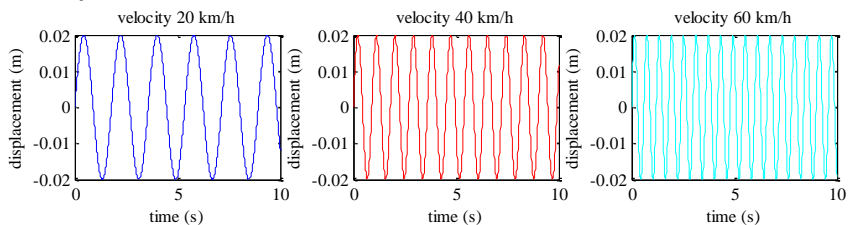


Gambar 2. 10 Konstruksi *hydraulic motor regenerative shock absorber* (HM RSA) ^[2]

Pada saat eksekusi simulasi, digunakan dua macam input, yaitu pertama, input sinusoidal yang akan menghasilkan respon *steady-state*. Kedua, input *bump* yang telah dimodifikasi yang akan menghasilkan respon transien. Persamaan dari kedua input tersebut dapat dituliskan sebagai berikut.

- Input sinusoidal

$$y(t) = Y \sin(\omega t) \quad (2.1)$$

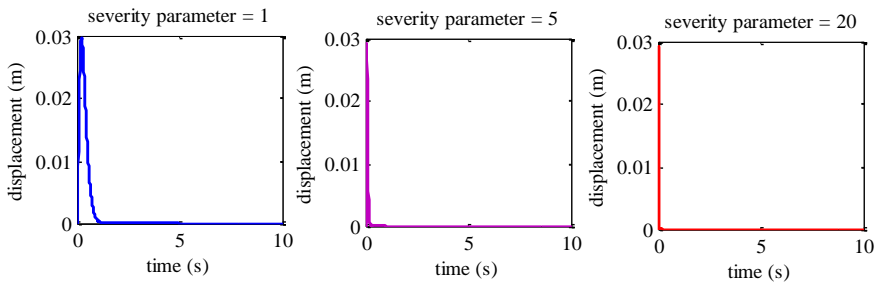


Gambar 2. 11 Profil jalan dengan input sinusoidal ^[2]

Pada persamaan (2.1), nilai Y merupakan ampiltudo yang digunakan. Amplitudo yang digunakan dalam simulasi, yaitu 2 cm. Besar frekuensi didapatkan dari rumus $f = \frac{v}{\lambda}$, dengan asumsi kecepatan yang digunakan (v) 40 km/h hingga 60 km/h dan panjang gelombang (λ) 10 m. Setelah itu didapatkan nilai ω , dengan rumus $\omega = 2\pi f$.

- Input *bump* yang dimodifikasi

$$y(t) = Y 0.37e^2(\gamma\omega_0 t)e^{-\gamma\omega_0 t} \quad (2.2)$$



Gambar 2. 12 Profil jalan dengan input *bump* yang dimodifikasi

Input ini merupakan fungsi dari γ (*severity parameter*), yaitu 1 untuk *low impact*, 5 untuk *less severe impacts*, dan 20 untuk *more severe impact*. Sedangkan ω_0 adalah $\sqrt{\frac{k_s}{m_s}}$. Nilai Y merupakan ampiltudo yang digunakan.

Pengembangan HM RSA yang dilakukan oleh Skryptian^[8], mahasiswa Teknik Mesin ITS, yaitu dengan melakukan studi tentang pengaruh perubahan tekanan akumulator terhadap karakteristik redaman dan energi listrik. Tekanan akumulator hanya mempengaruhi redaman mekanik, tetapi energi listrik regeneratifnya turun, dan semakin besar tekanan akumulator maka semakin besar pula gaya redam yang dihasilkan. Efisiensi tertinggi didapatkan ketika tidak

menggunakan akumulator. Hal ini terjadi karena semakin tinggi kecepatan, redaman mekanik seperti inersia, redaman akibat luas penampang silinder dengan *check valve*, dan *head loss* pada sistem perpipaan juga semakin meningkat. Sehingga daya listrik yang didapatkan serta daya mekaniknya menjadi semakin menurun. Dalam pengujiannya, dapat diketahui energi regeneratif yang dihasilkan yakni pada frekuensi 1.3Hz, 1.5Hz, dan 1.7 Hz berturut-turut adalah 1.017 W, 1.745 W, dan 2.332 W

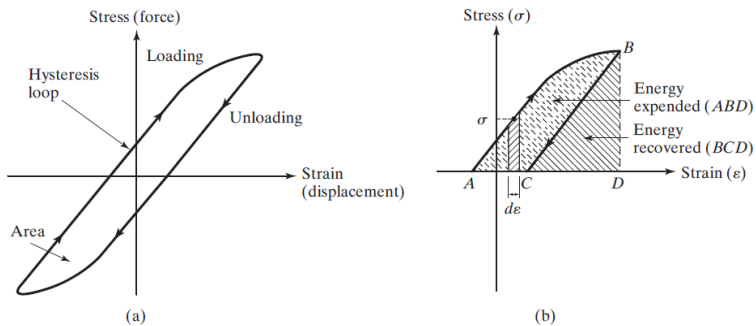
2.3 Redaman

Pada umumnya, energi getaran diubah menjadi panas atau suara. Karena pengurangan energi, respon (seperti perpindahan pada sistem) akan menurun. Mekanisme dari energi getaran diubah menjadi panas atau suara diketahui sebagai redaman (*damping*). Walaupun jumlah energi yang diubah menjadi panas atau suara relatif kecil, pertimbangan redaman menjadi penting untuk prediksi yang akurat dari respon getaran sistem^[9]. Berikut beberapa jenis redaman:

- ***Viscous Damping***^[9] merupakan mekanisme redaman yang paling sering digunakan dalam analisis getaran. Saat sistem mekanis bergetar dalam media fluida (seperti udara, gas, air, atau oli), perlawanan dari fluida terhadap sistem inilah yang menyebabkan energi terdisipasi. Jumlah energi yang terdisipasi bergantung pada beberapa faktor, yaitu bentuk dan ukuran massa yang bergetar, viskositas fluida, frekuensi getaran, dan kecepatan massa tersebut bergetar. Dalam *viscous damping*, gaya redam sebanding dengan kecepatan massa bergetar. Contoh dari *viscous damping*: (1)film cairan antara permukaan geser, (2)aliran cairan di sekitar piston di dalam silinder, (3)aliran fluida melalui lubang (*orifice*), dan (4)film cairan di sekitar sebuah jurnal di bantalan (*bearing*).
- ***Coulomb or Dry-Friction Damping***^[9]. Gaya redam besarnya konstan tetapi berlawanan arah dengan gerak massa yang

bergetar. Hal ini disebabkan oleh gesekan antara menggosok permukaan yang baik kering atau pelumasan cukup.

- **Material or Solid or Hysteretic Damping**^[9]. Ketika material berdeformasi, energi akan diserap dan terdisipasi oleh material. Hal ini disebabkan karena gesekan antara bagian dalam yang slip atau bergeser karena deformasi. Saat sebuah massa yang mempunyai *material damping* bergetar, diagram *stress-strain* ada pada gambar 2.13. Daerah yang ditunjukkan pada gambar, menunjukkan energi yang hilang tiap unit volume massa per siklus karena redaman yang terjadi.



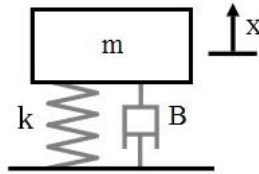
Gambar 2. 13 Diagram *stress-strain* dari sebuah massa yang mempunyai *material damping*^[9]

2.4 Persamaan Gerak Getaran dan Motion of Base

Getaran dapat diklasifikasikan menjadi:

- **Free vibration**^[9], terjadi ketika sistem mekanik berangkat dengan input awal dan kemudian dibiarkan bergetar secara bebas.

➤ *Free vibration with damping*



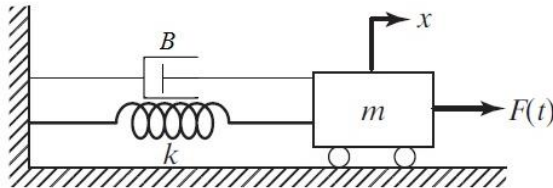
Gambar 2. 14 Contoh sederhana dari sistem *free vibration with damping*^[9]

Berikut turunan persamaan dari gambar 2.14:

$$m\ddot{x} + B\dot{x} + kx = 0 \quad (2. 3)$$

- **Forced vibration**^[9], terjadi jika sistem mekanik terkena gaya luar.

➤ *Forced vibration with damping*



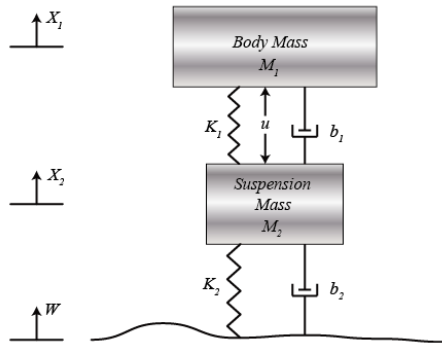
Gambar 2. 15 Contoh sederhana dari sistem *forced vibration with damping*^[9]

Berikut turunan persamaan dari gambar 2.15:

$$m\ddot{x} + B\dot{x} + kx = F(t) \quad (2. 4)$$

Sistem suspensi dirancang dengan memodelkan seperempat kendaraan (salah satu dari empat roda). Hal tersebut guna menyederhanakan masalah dengan sistem pegas-peredam. Pada gambar 2.16 merupakan sistem suspensi aktif.

Model of Bus Suspension System (1/4 Bus)

Gambar 2. 16 Gambar seperempat bus^[10]

Persamaan gerak dari gambar 2.16^[10]:

$$\begin{aligned}
 M_1 \ddot{x}_1 &= -b_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - k_1(x_1 - x_2) \\
 M_2 \ddot{x}_2 &= b_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + k_1(x_1 - x_2) + b_2(\dot{W} - \dot{x}_2) + k_2(W - x_2)
 \end{aligned}
 \quad (2.6)$$

Kemudian dari persamaan tersebut, diubah menjadi bentuk *state variable equation*.

$$\dot{x}_1 = v_1$$

$$\dot{x}_2 = v_2$$

$$\dot{W} = w$$

$$\dot{v}_1 = \frac{1}{M_1} [-b_1(v_1 - v_2) - k_1(x_1 - x_2)] \quad (2.7)$$

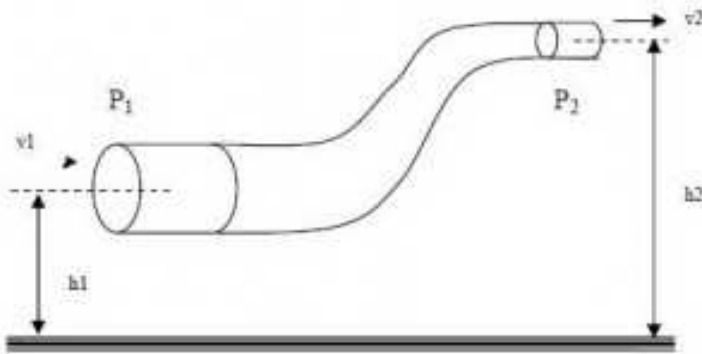
$$\dot{v}_2 = \frac{1}{M_2} [b_1(v_1 - v_2) + k_1(x_1 - x_2) + b_2(w - v_2) + k_2(W - x_2)] \quad (2.8)$$

2.5 Persamaan Pada Mekanisme Hidrolik

2.5.1 Persamaan Bernoulli

Persamaan Bernoulli menyatakan bahwa jumlah energi pada suatu titik di dalam suatu aliran tertutup sama besarnya dengan jumlah energi di titik lain pada jalur aliran yang sama. Prinsip ini diambil dari nama ilmuwan Belanda/Swiss yang bernama Daniel Bernoulli.^[11]

Dalam bentuknya yang sudah disederhanakan, secara umum terdapat dua bentuk persamaan Bernoulli; yang pertama berlaku untuk aliran tak-termampatkan (incompressible flow), dan yang lain adalah untuk fluida termampatkan (compressible flow). Berikut ini persamaan Bernoulli untuk aliran yang tak termampatkan (incompressible flow):



Gambar 2. 17 Penerapan hukum Bernoulli pada sebuah pipa^[11]

Persamaan Bernoulli^[11]:

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + gh_1 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + gh_2 \quad (2. 9)$$

Keterangan:

- p_1 : Tekanan fluida pada kondisi 1 (N/m^2)
- p_2 : Tekanan fluida pada kondisi 2 (N/m^2)
- v_1 : Kecepatan aliran fluida pada kondisi 1 (m/s)
- v_2 : Kecepatan aliran fluida pada kondisi 2 (m/s)
- h_1 : Tinggi pipa kondisi 1 (m)
- h_2 : Tinggi pipa kondisi 2 (m)
- g : gravitasi bumi (9.8 m/s^2)

2.5.2 Konservasi Massa pada Mekanika Fluida

$$\left. \frac{dM}{dt} \right)_{system} = 0 \quad (2.10)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{CV} \rho dV + \int_{CS} \rho \vec{V} \cdot d\vec{A} = 0 \quad (2.11)$$

karena diasumsikan aliran *incompressible* dan *steady flow*, ρ = konstan, sehingga:

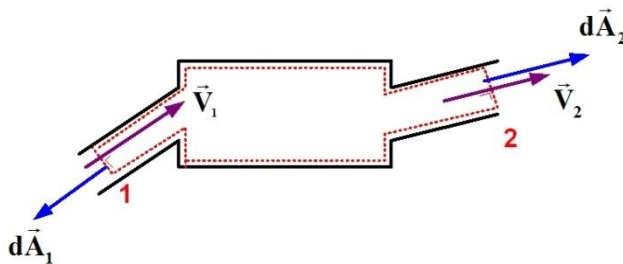
$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{CV} \rho dV + \rho \int_{CS} \vec{V} \cdot d\vec{A} = 0$$

$$\rho \int_{CS} \vec{V} \cdot d\vec{A} = 0$$

$$\int_{CS} \vec{V} \cdot d\vec{A} = 0 \quad (2.12)$$

dimana

ρ	: massa jenis fluida (kg/m ³)
V	: volume fluida (m ³)
\vec{V}	: kecepatan (m/s)
A	: luas area (m ²)



Gambar 2. 18 Ilustrasi untuk aliran dalam suatu kontrol volume^[11]

2.5.3 Head Loss

Head loss^[11] merupakan kerugian energi per satuan berat fluida dalam aliran cairan dalam sistem perpipaan. *Total*

head loss merupakan penjumlahan dari *major* dan *minor head loss*.

- **Major head loss**, merupakan kerugian energi dikarenakan efek gesekan pada *fully developed flow* di dalam pipa. Rumus untuk *major head loss*^[11]:

$$h_l = \left(\frac{64}{Re}\right) \frac{L}{2d_{tube}} \dot{x}^2 \quad (2.13)$$

$$\text{dengan } Re = \frac{d_{tube}}{v} \dot{x} \quad (2.14)$$

Substitusi persamaan (2.13) ke persamaan (2.12)

$$h_l = \left(\frac{64v}{d_{tube}\dot{x}}\right) \frac{L}{2d_{tube}} \dot{x}^2$$

sehingga rumus *major head loss* menjadi:

$$h_l = \frac{32Lv}{d_{tube}^2} \dot{x} \quad (2.15)$$

dimana

h_l	: <i>major head loss</i>
L	: panjang pipa (m)
d_{tube}	: diameter pipa (m)
\dot{x}	: kecepatan aliran (m/s)
Re	: <i>Reynold number</i>
v	: viskositas kinematik fluida (m ² /s)

Nilai *friction factor* dipengaruhi oleh nilai Reynold number (Re) (persamaan (2.12)) dan kekasaran permukaan pipa (e). Dari nilai Re dapat ditentukan jenis aliran dari fluida, apabila $Re < 2300$ aliran digolongkan sebagai aliran laminar, sedangkan apabila $Re > 2300$ maka aliran digolongkan sebagai aliran turbulen.

- **Minor head loss**, merupakan kerugian energi yang diakibatkan karena pintu masuk, fitting, perubahan luasan, dsb. Rumu untuk *minor head loss*^[11]:

$$h_{lm} = K \frac{\bar{v}^2}{2} \quad (2.16)$$




dimana h_{lm} : *minor head loss*
 K : *loss coefficient*

Berikut ini adalah penjelasan tentang fenomena yang dapat menimbulkan *minor head loss*:

➤ *Inlets dan Exits*^[11]

Jika terdapat ujung tajam pada sudut inlet, maka akan terjadi separasi aliran yang menimbulkan *vena contracta*, yang menyebabkan hilangnya *mechanical energi*. Sekalipun sudut pada *inlet* maupun *exit* di buat bulat (*rounded*), tetap terjadi fenomena *vena contracta* yang kecil. Dari tabel 2.3 dapat dilihat besarnya koefisien *head loss minor* pada beberapa bentuk *inlet/exit*.

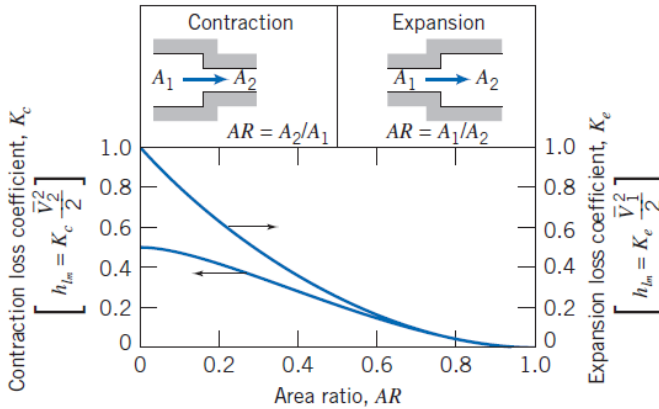
Tabel 2. 2 *Minor Loss Coefficient* untuk pintu masuk pada pipa^[11]

Entrance Type		Minor Loss Coefficient, K^a			
Reentrant		0.78			
Square-edged		0.5			
Rounded		$\frac{r/D}{K}$	0.02 0.28	0.06 0.15	≥ 0.15 0.04

^aBased on $h_{lm} = K(\bar{V}^2/2)$, where \bar{V} is the mean velocity in the pipe.

➤ *Enlargements dan Contractions*^[11]


Losses ini terjadi karena adanya perubahan area penampang (membesar ataupun mengecil) secara tiba – tiba. Untuk mengetahui besarnya koefisien *headloss minor*, dapat dilihat pada gambar 2.19.



Gambar 2. 19 *Loss coefficient* untuk aliran melalui perubahan *sudden area*^[11]

Losses yang diakibatkan oleh perubahan luas penampang, dapat diantisipasi dengan cara memasang *nozzle* maupun *diffuser* diantara dua bagian dari pipa lurus yang terjadi luas perubahan penampang. Dari table 2.4 dapat ditentukan besarnya sudut dari *diffuser* maupun *nozzle* yang dibutuhkan.

Tabel 2. 3 *Loss coefficient* untuk kontraksi bertahap: saluran bulat dan persegi panjang^[11]

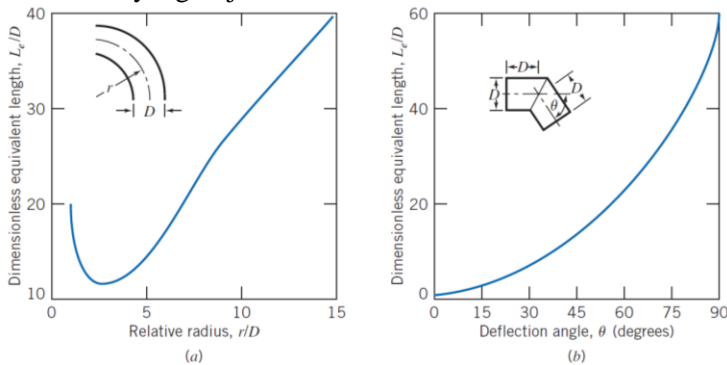
Included Angle, θ , Degrees								
	A_2/A_1	10	15–40	50–60	90	120	150	180
	0.50	0.05	0.05	0.06	0.12	0.18	0.24	0.26
	0.25	0.05	0.04	0.07	0.17	0.27	0.35	0.41
	0.10	0.05	0.05	0.08	0.19	0.29	0.37	0.43

Note: Coefficients are based on $h_{L_e} = K(\bar{V}_2^2/2)$.

➤ *Pipe bend* (belokan)^[11]

Head loss akibat bending (belokan) pada pipa mempunyai nilai yang lebih besar dari pada *head loss* yang terjadi pada

aliran *fully developed* pada pipa lurus pada panjang yang sama. Pada gambar 2.20 dan tabel 2.5 dapat ditentukan besar L_e/D yang digunakan untuk menghitung besarnya *head loss* minor yang terjadi.



Gambar 2. 20 Representative total resistance (L_e/D) untuk (a) pipa belokan (*bend*) dan siku bergelang (*flanged elbow*) 90° dan (b) belokan *miter* (*miter bend*)^[11]

Tabel 2. 4 Representative dimensionless equivalent lengths (L_e/D) untuk katup dan *fitting*^[11]

Fitting Type	Equivalent Length, ^a L_e/D
Valves (fully open)	
Gate valve	8
Globe valve	340
Angle valve	150
Ball valve	3
Lift check valve: globe lift	600
angle lift	55
Foot valve with strainer: poppet disk	420
hinged disk	75
Standard elbow: 90°	30
45°	16
Return bend, close pattern	50
Standard tee: flow through run	20
flow through branch	60

^aBased on $h_{L_e} = f(L_e/D)(\bar{V}^2/2)$.

➤ *T-Junction*^[11]

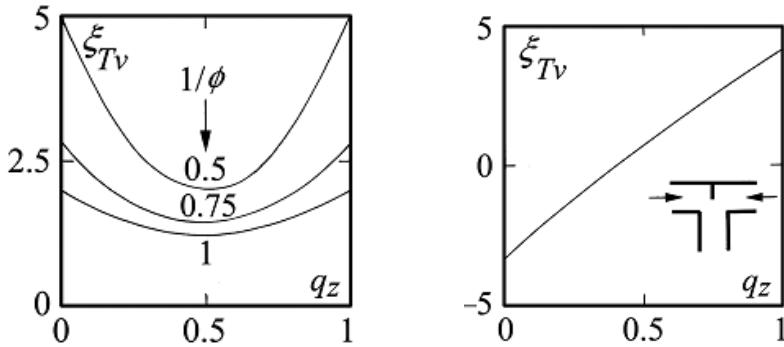
T-junction merupakan sambungan yang menghubungkan 3 buah pipa, dimana dua cabang aliran yang mendekat (*approach*) tegak lurus terhadap cabang aliran *downstream* (*combining flow*), atau dua cabang *downstream* yang tegak lurus terhadap cabang aliran yang mendekat (*dividing flow*)^[11]. Perumusan dibawah ini diturunkan dengan menganggap $\delta_z = \delta_0$ untuk *combining flow* dan $\delta_a = \delta_d$ untuk *dividing flow*. Ketiga cabang memiliki luas penampang yang sama besar. Dalam kasus *combining flow*, *coefficient of losses* didefinisikan dalam fungsi kecepatan *head* dari cabang aliran *downstream* dengan persamaan sebagai berikut :

$$\xi_{tv} = \frac{\Delta H_{Tv}}{\left(\frac{V^2}{2g}\right)} \quad (2.17)$$

dimana :

- ΔH_{Tv} = selisih *head* antara *Approach Flow* dan *Downstream Flow*
- V = Kecepatan *head*
- ξ_{tv} = *Coefficient of Losses*

Berdasarkan hasil eksperimen, nilai *coefficient of losses* pada kasus *combining flow* dalam fungsi debit aliran ditunjukkan pada grafik berikut :



Gambar 2. 21 *Coefficient of Losses* untuk kasus *combining flow* pada *T-junction* (a) tanpa dinding pemisah. (b) dengan dinding pemisah^[11]

Sumbu horizontal pada grafik merupakan *discharge ratio* (q_z) yang dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

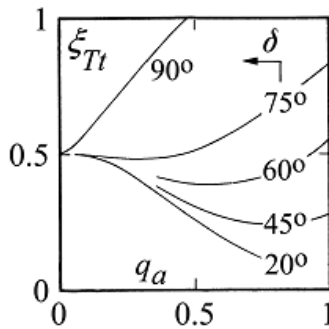
$$q_z = \frac{Q_z}{Q_u} \quad (2.18)$$

dimana

Q_z = Debit aliran *approach branches*

Q_u = Debit aliran *downstream branches*

Sementara pada kasus *dividing flow*, *coefficient of losses* ditunjukkan pada grafik berikut:



Gambar 2. 22 *Coefficient of losses* pada *dividing flow*^[11]

2.6 Motor Hidrolik

Motor hidrolik adalah sebuah aktuator mekanik yang mengkonversi aliran dan tekanan hidrolik menjadi torsi atau tenaga putaran. Alat ini menjadi satu bagian dari sebuah sistem hidrolik selain silinder hidrolik. Motor hidrolik berkebalikan fungsi dengan pompa hidrolik. Jika pompa hidrolik berfungsi untuk menghasilkan tekanan dan aliran tertentu pada suatu sistem hidrolik, maka motor hidrolik bertugas mengkonversi kembali tekanan hidrolik menjadi tenaga putar. Motor hidrolik dapat berkerja pada dua arah putaran motor sesuai dengan kebutuhan penggunaan. Rumus yang digunakan untuk motor hidrolik ^[12]:

$$\omega = \frac{Q_m \eta_v}{q} \quad (2.19)$$

$$T_m = \Delta p_m q \eta_m \quad (2.20)$$

dimana ω : kecepatan putaran motor hidrolik (rad/s)

T_m : torsi motor hidrolik (N.m)

Q_m : debit aliran fluida yang masuk ke motor hidrolik (m³/s)

q : perpindahan motor hidrolik (cc/rev)

p_m : tekanan pada motor hidrolik (Pa)

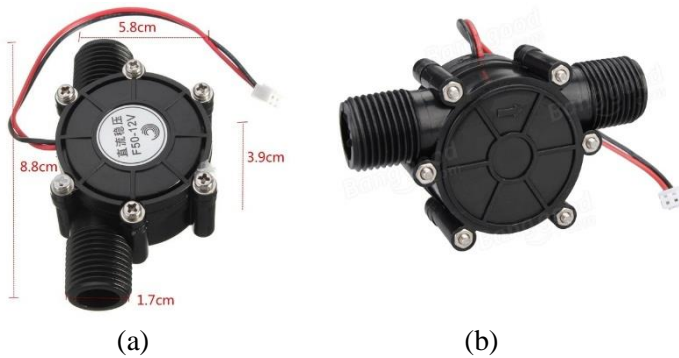
η_v : efisiensi volumetrik

η_m : efisiensi mekanik

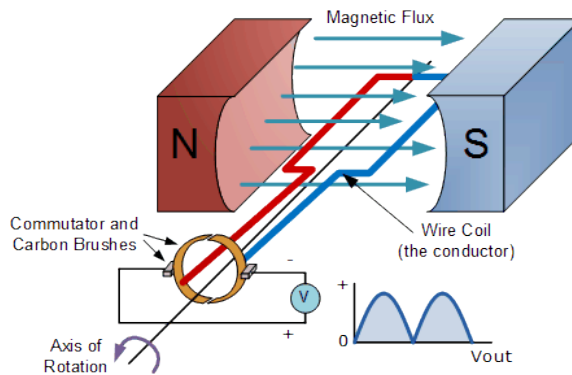
2.7 Generator DC

Generator merupakan alat yang dapat merubah energi mekanik menjadi energi listrik biasanya menggunakan induksi elektromagnetik. Sebagaimana generator listrik bekerja, prinsipnya berkebalikan dengan motor listrik. Berdasarkan arus yang dihasilkan, generator dapat dibedakan

menjadi dua macam, yaitu generator AC dan generator DC. Generator AC menghasilkan arus bolak-balik (AC) dan generator DC menghasilkan arus searah (DC).



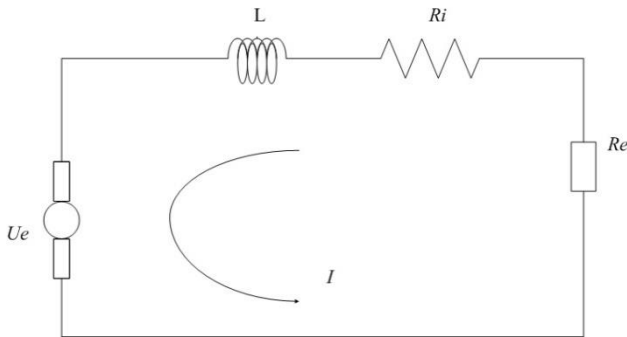
Gambar 2. 23 (a) Dimensi generator hidrolik
(b) Generator hidrolik tampak belakang



Gambar 2. 24 Skema generator DC elektromagnetik

Generator DC, terdiri dua bagian, yaitu stator, yaitu bagian mesin DC yang diam/tidak bergerak, dan bagian rotor,

yaitu bagian mesin DC yang berputar. Bagian stator terdiri dari: rangka motor, belitan stator, sikat arang, bearing dan terminal box. Sedangkan bagian rotor terdiri dari: komutator, belitan rotor, kipas rotor dan poros rotor. Pada tugas akhir ini, digunakan generator yang sudah menjadi satu dengan motor hidrolik sehingga dapat mengurangi losses dari joint ataupun gear penghubung. Nama alat ini adalah generator hidrolik (gambar 2.20) Arah arus induksi generator DC tidak berubah. Hal ini disebabkan cincin yang digunakan pada generator DC berupa cincin belah (komutator).



Gambar 2. 25 Skema RL Circuit untuk Generator^[11]

Persamaan elektrik pada generator dengan menggunakan *Kirchhoff's voltage law*:

$$(R_e + R_i)I + L \frac{dI}{dt} = V_e \quad (2.21)$$

$$\text{dengan, } V_e = 2NBla\dot{\theta} = \alpha\dot{\theta} \quad (2.22)$$

karena induktansi diabaikan, maka persamaan tersebut menjadi:

$$(R_e + R_i)I + L \frac{dI}{dt} = V_e$$

sehingga persamaan menjadi:

$$(R_e + R_i)I = \alpha \dot{\theta}$$

$$I = \frac{\alpha}{(R_e + R_i)} \dot{\theta} = \beta \dot{\theta} \quad (2.23)$$

dimana V_e : *electromotive voltage* (Volt)
 L : induktansi internal (Henries)
 I : arus (Ampere)
 β : arus $\omega > 130$
 α : voltase

Rumus torsi elektrik pada generator:

$$T_e = F_e a$$

$$T_e = (NBli)a$$

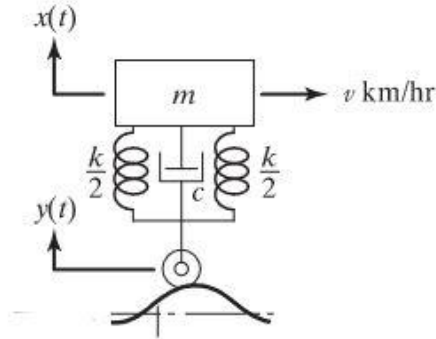
$$T_e = NBl(\beta \dot{\theta})a$$

$$T_e = NBla\beta \dot{\theta} = c_{Te} \dot{\theta} \quad (2.24)$$

dimana T_e : torsi elektrik (N.m)
 N : jumlah lilitan
 B : induksi magnetik (Tesla)
 l : panjang kumparan (m)
 a : jarak kepada kawat (m)
 c_{Te} : koefisien torsi elektrik (N.m.s/rad)

2.8 Relative Motion of Base

Ketika suatu kendaraan melewati *bump*, sistem suspensi kendaraan tersebut bergerak dengan kecepatan yang berbeda-beda relatif terhadap satu sama lain. Persamaan gerak dari sistem yang bergerak relatif ditunjukkan pada persamaan 2.24^[9].



Gambar 2.26 Seperempat Kendaraan yang Melewati Jalan Kasar

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = c\dot{y} + ky \quad (2.25)$$

Dengan:

$$y = y_0 \sin\left(\frac{\pi}{t_0}\right)t$$

$$\dot{y} = \frac{\pi}{t_0} y_0 \cos\left(\frac{\pi}{t_0}\right)t$$

Dengan $t_0 = \frac{s}{v}$, dimana s adalah panjang bump dan v adalah kecepatan kendaraan.

y dan \dot{y} dimasukkan ke dalam persamaan 2.24, sehingga didapatkan:

$$\dot{x} = \left(\frac{\pi}{t_0} y_0 \cos\left(\frac{\pi v}{s}\right)t\right) + \frac{k}{c} y_0 \sin\left(\frac{\pi v}{s}\right)t - \frac{k}{c} x - \frac{m}{c} \ddot{x} \quad .26)$$

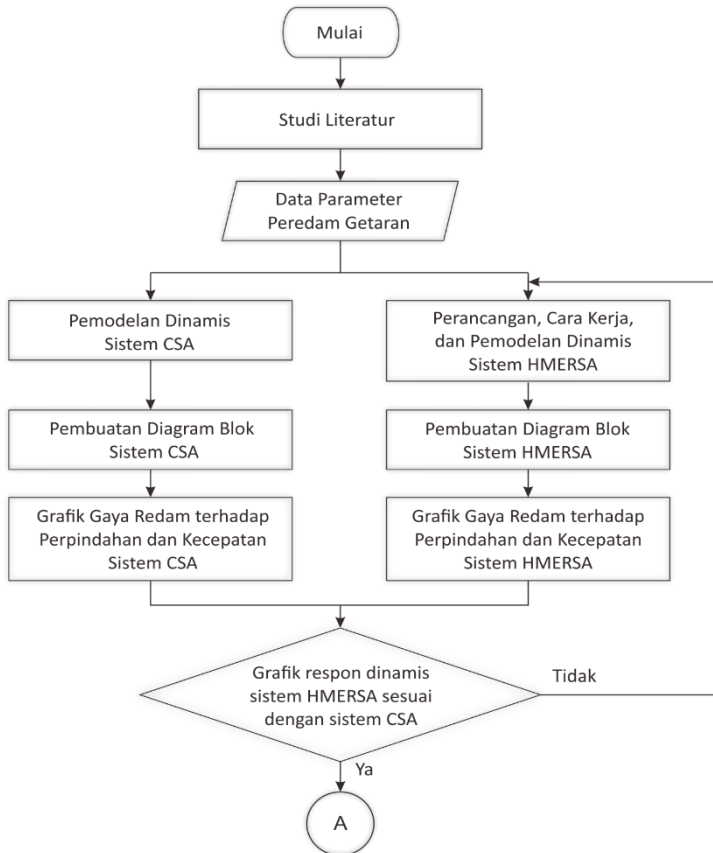
Dengan \dot{r} adalah kecepatan relatif antara kendaraan dengan *base* (kecepatan gerak *shock absorber*), maka:

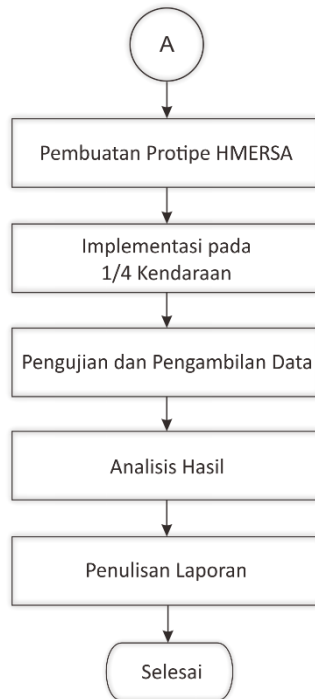
$$\dot{r} = \dot{x} - \dot{y} \quad (2.27)$$

BAB III METODOLOGI

3.1 Metode Penelitian

Penulisan tugas akhir ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik gaya redam dan energi bangkitan dari *Hydro Magneto Electric Regenerative Shock Absorber* (HMERSA) dengan dua generator hidraulik tersambung seri. Dalam proses analisis dilakukan beberapa langkah yang ditunjukkan oleh diagram alir pada gambar 3.1.





Gambar 3. 1 Diagram alir penyelesaian tugas akhir

3.2 Studi Literatur

Penulisan tugas akhir ini membutuhkan referensi-referensi yang dapat menunjang dalam menganalisis sistem *Hydro Magneto Electric Regenerative Shock Absorber* (HMERSA). Oleh karena itu, dilakukan studi literatur untuk menambah wawasan, pengetahuan, dan landasan mengenai permasalahan yang akan dibahas. Adapun materi dari studi literatur yang mendukung dalam penulisan tugas akhir ini yaitu mekanika getaran dasar, pemodelan sistem dinamis, sistem hidrolik, serta pembuatan diagram blok pada MATLAB Simulink. Sedangkan studi lapangan yang dilakukan meliputi penentuan nilai parameter

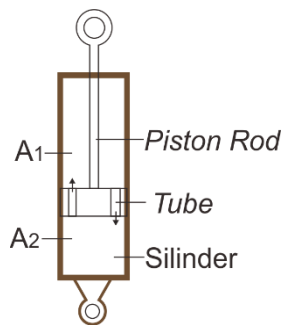
HMERSA yang digunakan dalam pemodelan dan simulasi sistem. Nilai parameter tersebut adalah berupa data teknis yang meliputi dimensi dan massa sistem seperempat kendaraan, komponen hidrolik berupa silinder hidrolik, pipa, generator hidrolik DC. Referensi untuk studi literatur didapat dari buku, jurnal-jurnal ilmiah, maupun penelitian-penelitian terdahulu yang berkaitan. Sedangkan studi lapangan didapat dari data hasil penelitian oleh kelompok yang membuat perancangan alat terkait.

3.3 Pemodelan dan Simulasi Sistem Suspensi *Oleo-Pneumatic*

Penulisan tugas akhir ini dilakukan untuk mengetahui respon dinamis berupa perpindahan, kecepatan, dan percepatan terhadap sistem *Hydro Magneto Electric Regenerative Shock Absorber* (HMERSA). Dalam proses analisis dilakukan beberapa langkah yang dilakukan untuk mendapatkan grafik karakteristik menurut simulasi menggunakan software Simulink Matlab. Yang pertama adalah pembuatan model dinamis dari CSA dan HMERSA beserta persamaan gaya redamnya, lalu pembuatan model dinamis seperempat kendaraan untuk meninjau gaya-gaya yang ada pada setiap DOF dan menghasilkan persamaan matematis yang diubah dalam bentuk *state variable*.

3.3.1 Pemodelan Dinamis *Conventional Shock Absorber*

Pemodelan dinamis untuk sistem suspensi hidrolik terlihat pada gambar 3.3.



Gambar 3. 2 Pemodelan *Conventional Shock Absorber* sistem hidrolik

Persamaan yang digunakan pada sistem *Conventional Shock Absorber*:

- a. Untuk persamaan silinder hidrolik, menggunakan persamaan Bernoulli (2.9).

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + gh_1 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + gh_2$$

Asumsi $h_1 = h_2$, sehingga persamaan menjadi:

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} = \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2}$$

$$p_2 - p_1 = \frac{\rho}{2} (v_2^2 - v_1^2)$$

$$\Delta p = \frac{\rho}{2} (v_2^2 - v_1^2) \quad (3.1)$$

dimana 1 : saat kondisi awal dan 2 : saat kondisi akhir.

- b. Hubungan silinder hidrolik dengan *tube* menggunakan persamaan konservasi massa

- Saat kondisi ekspansi

$$Q_1 = Q_{tube}$$

$$v_1 A_1 = v_{tube} A_{tube}$$

$$v_{tube} = \frac{A_1}{A_{tube}} \times v_1 \quad (3.2)$$

Kemudian dilakukan substitusi persamaan (3.2) ke persamaan (3.1) dengan catatan kondisi 2 pada pipa dan kondisi 1 pada silinder hidrolik sehingga persamaan menjadi:

$$\Delta p = \frac{\rho}{2} (v_{tube}^2 - v_1^2)$$

$$\Delta p = \frac{\rho}{2} \left(\left(\frac{A_1}{A_{tube}} v_1 \right)^2 - v_1^2 \right)$$

$$\Delta p = \frac{\rho}{2} v_1^2 \left(\left(\frac{A_1}{A_{tube}} \right)^2 - 1 \right) \quad (3.3)$$

Persamaan gaya redaman dari persamaan (3.3), yaitu:

$$F_d = \Delta p \times A_1$$

$$F_d = \frac{\rho}{2} A_1 v_1^2 \left(\left(\frac{A_1}{A_{tube}} \right)^2 - 1 \right) \quad (3.4)$$

- Saat kondisi kompresi

$$\begin{aligned} Q_2 &= Q_{tube} \\ v_2 A_2 &= v_{tube} A_{tube} \\ v_{tube} &= \frac{A_2}{A_{tube}} \times v_2 \end{aligned} \quad (3.5)$$

Kemudian dilakukan substitusi persamaan (3.5) ke persamaan (3.1) dengan catatan kondisi 2 pada pipa dan kondisi 1 pada silinder hidrolik sehingga persamaan menjadi:

$$\begin{aligned} \Delta p &= \frac{\rho}{2} (v_{tube}^2 - v_2^2) \\ \Delta p &= \frac{\rho}{2} \left(\left(\frac{A_2}{A_{tube}} v_2 \right)^2 - v_2^2 \right) \\ \Delta p &= \frac{\rho}{2} v_2^2 \left(\left(\frac{A_2}{A_{tube}} \right)^2 - 1 \right) \end{aligned} \quad (3.6)$$

Persamaan gaya redaman dari persamaan (3.6), yaitu:

$$\begin{aligned} F_d &= \Delta p \times A_2 \\ F_d &= \frac{\rho}{2} A_2 v_2^2 \left(\left(\frac{A_2}{A_{tube}} \right)^2 - 1 \right) \end{aligned} \quad (3.7)$$

dimana:

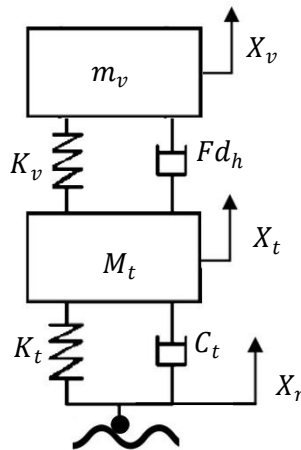
$$A_1 = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$$

$$A_2 = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A_{tube} = \frac{\pi d_{tube}^2}{4}$$

3.3.2 Pemodelan Dinamis Sistem *Conventional Shock Absorber* pada $\frac{1}{4}$ Kendaraan

Model dinamis dari sistem HMERSA memiliki dua massa. Massa yang pertama (m_v) adalah massa dari body, frame, interior, mesin, dan massa lainnya yang berada diatas suspensi. Sedangkan massa kedua (M_t) merupakan massa suspensi, roda, *bearing*, rem, dan lain-lain.



Gambar 3. 3 Pemodelan dinamis *Conventional Shock Absorber*

Keterangan Gambar:

X_v : *Displacement* massa kendaraan

M_v : Massa Kendaraan

K_v : Koefisien pegas dari Kendaraan

Fd_h : Gaya redam yang dihasilkan dari sistem suspensi konvensional

X_t : *Displacement* massa ban

M_t : Massa ban

K_t : Koefisien pegas dari ban

C_t : Koefisien redaman ban

X_r : *Displacement* kontur jalan

a. **Persamaan matematis dari m_v adalah sebagai berikut:**

$$\begin{aligned}
 m_v \ddot{x}_v + Fd_h + Fk_v &= 0 \\
 m_v \ddot{x}_v + Fd_h + k_v(x_v - x_t) &= 0 \\
 m_v \ddot{x}_v &= -\frac{\rho}{2} A_2 v_2^2 \left(\left(\frac{A_2}{A_{tube}} \right)^2 - 1 \right) - k_v(x_v - x_t) \\
 \ddot{x}_v &= \frac{1}{m_v} \left[-\frac{\rho}{2} A_2 v_2^2 \left(\left(\frac{A_2}{A_{tube}} \right)^2 - 1 \right) - k_v(x_v - x_t) \right]
 \end{aligned}$$

Persamaan *state variable* dari persamaan 2.8 yaitu:

$$\begin{aligned}
 \dot{x}_v &= v_v \\
 \dot{v}_v &= \frac{1}{m_v} \left[-\frac{\rho}{2} A_2 v_2^2 \left(\left(\frac{A_2}{A_{tube}} \right)^2 - 1 \right) - k_v(x_v - x_t) \right] \quad (3.8)
 \end{aligned}$$

b. **Persamaan matematis dari m_t adalah sebagai berikut:**

$$\begin{aligned}
 m_t \ddot{x}_t + Fd_t - Fd_h + Fk_t - Fk_v &= 0 \\
 m_t \ddot{x}_t + c_t(\dot{x}_t - \dot{x}_r) - \frac{\rho}{2} A_2 v_2^2 \left(\left(\frac{A_2}{A_{tube}} \right)^2 - 1 \right) \\
 + k_t(x_t - x_r) - k_v(x_v - x_t) &= 0 \\
 m_t \ddot{x}_t = -c_t(\dot{x}_t - \dot{x}_r) + \frac{\rho}{2} A_2 v_2^2 \left(\left(\frac{A_2}{A_{tube}} \right)^2 - 1 \right) \\
 - k_t(x_t - x_r) + k_v(x_v - x_t) \\
 \ddot{x}_t &= \frac{1}{m_t} \left[-c_t(\dot{x}_t - \dot{x}_r) + \frac{\rho}{2} A_2 v_2^2 \left(\left(\frac{A_2}{A_{tube}} \right)^2 - 1 \right) - \right. \\
 \left. k_t(x_t - x_r) + k_v(x_v - x_t) \right] \quad (3.9)
 \end{aligned}$$

Persamaan *state variable* dari persamaan 2.9 yaitu:

$$\dot{x}_t = v_t$$

$$\dot{v}_t = \frac{1}{m_t} \left[-c_t(v_t - v_r) + \frac{\rho}{2} A_2 v_2^2 \left(\left(\frac{A_2}{A_{tube}} \right)^2 - 1 \right) - k_t(x_t - x_r) + k_v(x_v - x_t) \right] \quad (3.10)$$

3.3.3 Pembuatan Blok Diagram dan Simulasi Conventional Shock Absorber

Dari persamaan gerak yang diperoleh, dibuat diagram blok yang sesuai dengan persamaan gerak dari masing-masing sistem. Berikut parameter yang digunakan untuk simulasi sistem *Conventional Shock Absorber* :

Tabel 3. 1 parameter *Conventional Shock Absorber*

Parameter	Nilai
diameter batang piston (d)	33 mm
diameter silinder hidrolik (D)	50 mm
diameter orifice	2 mm
massa jenis fluida (ρ)	860 kg/m ³
viskositas kinematik fluida (ν) (ISO VG 10)	10 mm ² /s

Dari diagram blok tersebut akan didapatkan grafik respon masing-masing sistem yang akan dibahas pada bab selanjutnya.

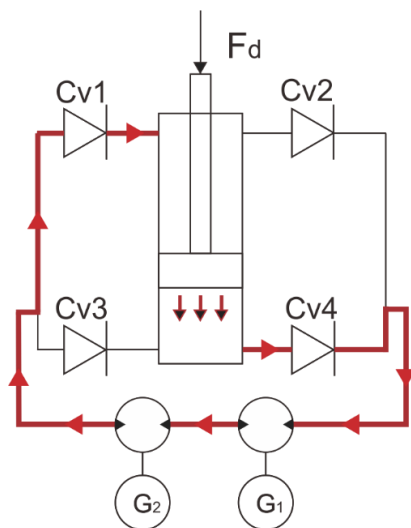
3.3.4 Cara Kerja dan Pemodelan *HMERSA*

Sistem *HMERSA* merupakan sistem hidrolik yang memanfaatkan tekanan fluida cair suspensi untuk menghasilkan energi. Energi gerak yang diterima oleh motor hidrolik diubah menjadi energi listrik oleh generator. Dengan begitu, energi yang terbuang dapat diminimalisir. *Shock absorber* yang digunakan adalah *shock absorber* dari kendaraan angkutan barang. Pada bagian samping atas dan samping bawah *shock absorber* dilubangi sebesar diameter pipa yang terhubung ke *check valve*

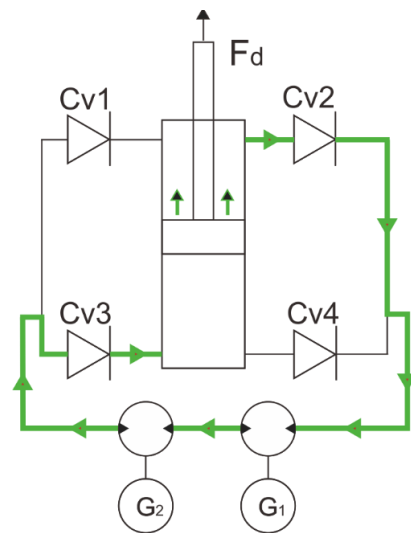
lalu menuju generator hidraulis. *Check valve* digunakan untuk membuat arah aliran hanya menjadi satu arah. Pipa yang terpasang pada lubang-lubang akan menggantikan fungsi peredam yang dimiliki *orifice* pada *Conventional Shock Absorber*. Pada pembuatan alat, terdapat 2 jenis yaitu 1 *Cycle* HMERSA dan 2 *Cycle* HMERSA

Pergerakan dari sistem 2 *Cycle* HMERSA terbagi menjadi dua kondisi kerja, yaitu kompresi dan ekspansi. Saat kondisi kompresi (ilustrasi gambar 3.5), gaya F_d kearah bawah dan mendorong piston ke arah bawah. Aliran fluida pada silinder bagian bawah akan menuju *check valve* 4 dan melewati dua generator hidraulis yang terpasang seri. *Check valve* 2 akan menutup karena arah alirannya melawan dari arah pintu pada *check valve*. Hal tersebut membuat arah aliran sepenuhnya menuju generator hidraulis yang akan berputar dan menghasilkan energi listrik. Pada kondisi ini pula fluida yang telah melewati generator hidraulis akan menuju T-junction dan masuk ke silinder bagian atas melalui *check valve* 1. Fluida tidak akan melewati *check valve* 3 karena tekanan dari silinder bagian bawah lebih besar dan membuat *check valve* 3. Pada saat ekspansi (ilustrasi gambar 3.6), gaya F_d kearah atas dan mendorong piston ke arah atas. Aliran fluida pada silinder bagian atas akan menuju *check valve* 2, melewati dua generator hidraulis, dan pada pada akhirnya masuk ke silinder bagian bawah melewati *check valve* 4.

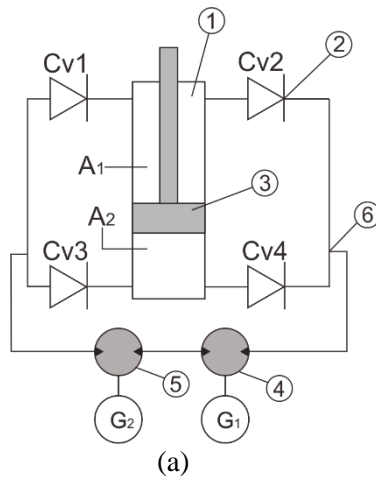
Begitu pula pada pergerakan sistem 1 *Cycle* HMERSA terbagi menjadi dua kondisi kerja, yaitu kompresi dan ekspansi. Hanya saja, pada pergerakan ekspansi, generator hidraulis tidak menghasilkan energi karena sistem saluran hanya mengalirkan fluida menuju generator hanya pada saat siklus kompresi. Penggunaan *check valve* hanya 2 karena aliran fluida yang dimanfaatkan hanya pada tabung bagian bawah



Gambar 3. 4 Sistem kerja 2 cycle HMERSA kondisi Kompresi

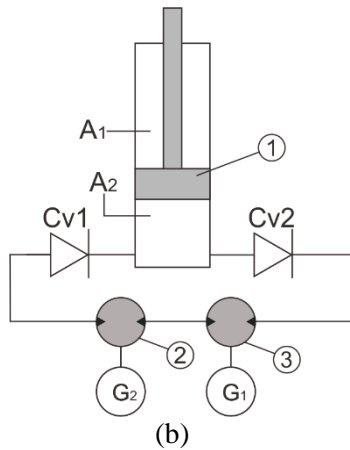


Gambar 3. 5 Sistem kerja 2 cycle HMERSA kondisi Ekspansi



Keterangan:

1. Tabung hidrolik
2. *Check valve*
3. Piston
4. Generator hidrolik 1
5. Generator hidrolik 2
6. T-junction

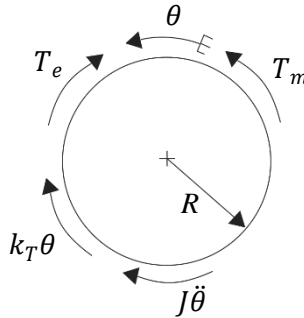


Keterangan:

1. Piston
2. Generator hidrolik 2
3. Generator hidrolik 1

Gambar 3. 6 Model dinamis (a) 2 cycle HMERSA (b) 1 cycle HMERSA

Perancangan dalam tugas akhir ini menggunakan generator hidrolik dimana motor hidrolik dan generator sudah menjadi satu kesatuan dalam poros yang sama. Tujuannya adalah agar *losses* yang terjadi antara motor dan generator menjadi kecil. Dari model matematis pada gambar 3.6, didapatkan *free body diagram* (FBD) pada gambar 3.8



Gambar 3. 7 FBD untuk poros generator hidrolik

Persamaan untuk FBD :

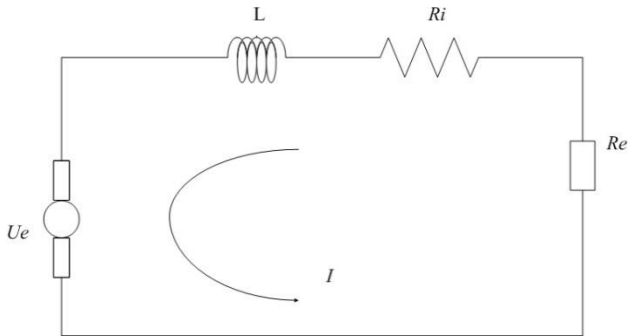
$$J\ddot{\theta} + k_T\theta + T_e = T_m$$

Asumsi inersia poros sangat kecil dan poros sangat *rigid*, sehingga $J\ddot{\theta} \approx 0$ dan $k_T\theta \approx 0$

$$T_e = T_m \quad (3.11)$$

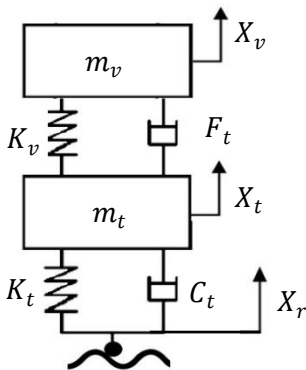
$$\begin{aligned} T_e &= \Delta p_m q \eta_m \\ \Delta p_m &= \frac{T_e}{q \eta_m} \end{aligned} \quad (3.12)$$

Untuk pemodelan elektrik generator, generator DC 3 fasa dapat dimodelkan menjadi rangkaian RL Circuit atau generator DC seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3. 8 Skema RL *circuit* untuk generator

3.3.5 Pemodelan Dinamis *Regenerative Shock Absorber* Pada ¼ Kendaraan



Keterangan Gambar :

X_v : *Displacement* massa kendaraan

M_v : Massa Kendaraan

K_v : Koefisien pegas dari Kendaraan
 F_t : Gaya redam yang dihasilkan dari sistem HMERSA

X_t : *Displacement* massa ban

M_t : Massa ban

K_t : Koefisien pegas dari ban

C_t : Koefisien redaman ban

X_r : *Displacement* kontur jalan

Gambar 3.9 Pemodelan dinamis HMERSA pada ¼ kendaraan

- a. Persamaan matematis dari m_v adalah sebagai berikut:

$$m_v \ddot{x}_v + F_t + F_{k_v} = 0$$

$$m_v \ddot{x}_v + k_v(x_v - x_t) + F_t = 0$$

Memasukkan gaya-gaya yang menjadi peredam piston untuk bergerak

$$\begin{aligned}
 m_v \ddot{x}_v &= -k_v(x_v - x_t) - \frac{\rho}{2} A_2 v_2^2 \left(\left(\frac{A_2}{A_{tube}} \right)^2 - 1 \right) - \frac{2 T_e}{q \eta_m} \\
 &\quad - \rho A_2 h l \\
 \ddot{x}_v &= \frac{1}{m_v} \left[-k_v(x_v - x_t) - \frac{\rho}{2} A_2 v_2^2 \left(\left(\frac{A_2}{A_{tube}} \right)^2 - 1 \right) - \frac{2 T_e}{q \eta_m} - \right. \\
 &\quad \left. \rho A_2 h l \right] \quad (3.13)
 \end{aligned}$$

b. Persamaan matematis dari m_t adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 m_t \ddot{x}_t + F d_t - F_t - F k_v + F k_t &= 0 \\
 m_t \ddot{x}_t + c_t(\dot{x}_t - \dot{x}_r) - \frac{\rho}{2} A_2 v_2^2 \left(\left(\frac{A_2}{A_{tube}} \right)^2 - 1 \right) - \frac{2 T_e A_2}{q \eta_m} \\
 &\quad - \rho A_2 h l - k_v(x_v - x_t) + k_t(x_t - x_r) = 0 \\
 m_t \ddot{x}_t &= -c_t(\dot{x}_t - \dot{x}_r) + \frac{\rho}{2} A_2 v_2^2 \left(\left(\frac{A_2}{A_{tube}} \right)^2 - 1 \right) + \frac{2 T_e A_2}{q \eta_m} \\
 &\quad + \rho A_2 h l + k_v(x_v - x_t) - k_t(x_t - x_r) \\
 \ddot{x}_t &= \frac{1}{m_t} \left[-c_t(\dot{x}_t - \dot{x}_r) + \frac{\rho}{2} A_2 v_2^2 \left(\left(\frac{A_2}{A_{tube}} \right)^2 - 1 \right) + \frac{2 T_e A_2}{q \eta_m} + \right. \\
 &\quad \left. \rho A_2 h l + k_v(x_v - x_t) - k_t(x_t - x_r) \right] \quad (3.14)
 \end{aligned}$$

3.3.6 Pembuatan *Block Diagram* dan Analisis Grafik

Pengaturan parameter untuk simulasi ini akan ditentukan sesuai dengan perencanaan konstruksi *prototype* HMERSA. Untuk parameter dari silinder hidrolik akan mengacu pada *shock absorber* bagian belakang dari kendaraan Suzuki Carry Pick Up.

Secara umum, HMERSA terdiri dari silinder hidrolik, *check valve*, generator hidrolik (G), dan beban elektrik. Untuk data spesifikasi dari HMERSA ditunjukkan pada Tabel 3.2. Data – data tersebut nantinya digunakan sebagai input parameter simulasi. Selain didapatkan dari data spesifikasi, parameter juga didapatkan dari pengukuran ataupun pengujian.

Tabel 3. 2 Parameter HMERSA

Parameter	Nilai
diameter batang piston (d)	33 mm
diameter silinder hidrolik (D)	50 mm
diameter pipa (d_{tube})	1/2 in
Diameter check valve	1/2 in
massa jenis fluida (ρ)	860 kg/m ³
viskositas kinematik fluida (ν) (ISO VG 10)	10 mm ² /s
efisiensi mekanik (η_m)	0.9
perpindahan motor hidrolik (q)	2,88 cc/rev

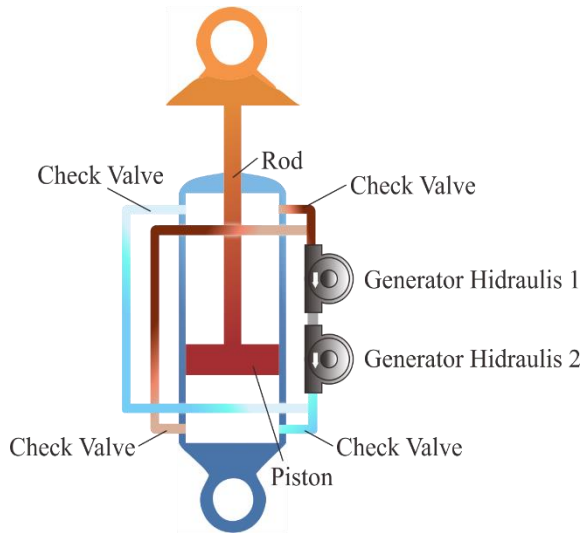
3.4 Pembuatan *Prototipe*

Penulisan tugas akhir ini dilakukan untuk mengetahui respon dinamis berupa kecepatan dan percepatan terhadap sistem *Hydro Magneto Electric Regenerative Shock Absorber* (HMERSA). Respon percepatan didapat dan dibandingkan melalui eksperimen dari hasil *prototipe* yang dirancang.

3.4.1 Perancangan dan Pemasangan HMERSA pada ¼ kendaraan

Untuk proses manufaktur dari pembuatan HMERSA ini akan dilakukan di bengkel mekanik pembuatan silinder hidrolik. Untuk komponen dari selang, *check valve* dan *t-junction* akan dibeli di toko peralatan hidrolik. Motor generator hidrolik akan dibeli di secara *online* dengan spesifikasi yang dibutuhkan.

Kemudian semua komponen akan dirakit sesuai dengan perancangan desain HMERSA yang telah dibuat. Kemudian dilakukan uji coba dengan mengisi selang dan silinder hidrolik dengan oli yang digunakan, apakah terdapat kebocoran atau tidak.



Gambar 3. 10 Model fisik HMERSA pada ¼ kendaraan

3.4.2 Pengujian dan Pengambilan Data pada Kendaraan



Gambar 3. 11 Penempatan HMERSA pada seperempat kendaraan Suzuki Carry

Pada tahap pengujian energi bangkitan HMERSA ini, *prototype* HMERSA yang telah di buat akan dipasang pada Suzuki Carry Pick Up. Kendaraan tersebut merupakan kendaraan yang banyak dipakai untuk keperluan pengangkutan barang. Pengambilan data dilakukan dengan langsung menguji *prototype* HMERSA ketika kendaraan berjalan pada medan jalan polisi tidur yang sudah ditentukan dimensinya. Pemasangan menggunakan peralatan seperti kunci inggris, tang, obeng, dan beberapa peralatan lainnya.

Untuk mengetahui energi bangkitan yang dihasilkan oleh HMERSA digunakan alat yaitu *Oscilloscope* dan juga *Avometer*. Fungsi dari *oscilloscope* adalah untuk mengetahui besarnya tegangan yang dihasilkan, sedangkan avometer

berfungsi untuk mengetahui nilai dari arus yang dihasilkan. Pengujian dilakukan dengan variasi kecepatan kendaraan 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam. Rumus untuk mencari daya (watt) adalah $P = V \times I$, dimana V adalah tegangan yang dihasilkan HMERSA, dan I adalah arus yang dihasilkan oleh HMERSA.

3.4.3 Analisis Hasil Pengujian

Pada tahapan pengambilan data ini, data yang diperoleh dari hasil pengujian tersebut akan dibandingkan dengan data yang didapat dari hasil simulasi. Hal yang dibandingkan pada pengujian kali ini berupa energi bangkitan yang dihasilkan dari HMERSA. Pengujian sistem HMERSA yang dilakukan pada kendaraan angkutan barang dengan bantuan *oscilloscope* akan menampilkan data berupa grafik. Untuk respon percepatan, perlu dilakukan konversi dari data *oscilloscope* yang masih berupa voltase. Persamaan untuk mengubah voltase menjadi respon percepatan ditunjukkan pada persamaan 3.13. Setelah dilakukan konversi, data tersebut di filter dalam *software* MATLAB. Untuk tegangan bangkitan oleh HMERSA, data dari *oscilloscope* bisa langsung dilakukan filter pada *software* MATLAB.

$$Response = \frac{G}{V} \cdot g \cdot \frac{f}{100} \quad (3.15)$$

dimana : G = Data yang akan diolah (V)
 V = Sensitivitas accelerometer (0.05 Volt)
 g = Percepatan gravitasi (9.81 m/s^2)
 f = Frekuensi eksitasi yang diberikan (Hz)
 100 = Frekuensi kerja accelerometer pada saat
 100 MHz

Dari eksperimen yang dilakukan akan didapatkan grafik yang menunjukkan karakteristik gaya redam dan energi bangkitan dari HMERSA. Dari data tersebut akan dianalisis dan ditarik

kesimpulan. Hasil dari analisis akan merujuk pada kesimpulan dari penelitian yang akan dituliskan di laporan Tugas Akhir.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Simulasi pada *Software* MATLAB Simulink

Pada tugas akhir ini, diperlukan beberapa data yang dapat digunakan untuk menunjang hasil eksperimen. Salah satu cara untuk mendapatkan data tersebut adalah melalui simulasi pada *software* untuk mendapatkan grafik gaya redam suspensi terhadap perpindahan, kecepatan, dan juga tegangan bangkitan dari sistem HMERSA terhadap waktu. *Software* yang digunakan untuk melakukan simulasi adalah MATLAB Simulink. *Software* tersebut digunakan karena dapat melakukan simulasi seperempat kendaraan dengan menggunakan blok diagram yang saling disambungkan. Ketika blok diagram sudah disambungkan dan parameter-parameter seperempat kendaraan dan sistem HMERSA sudah ditentukan pada *M-File*, maka simulasi dapat menampilkan hasil berupa grafik.

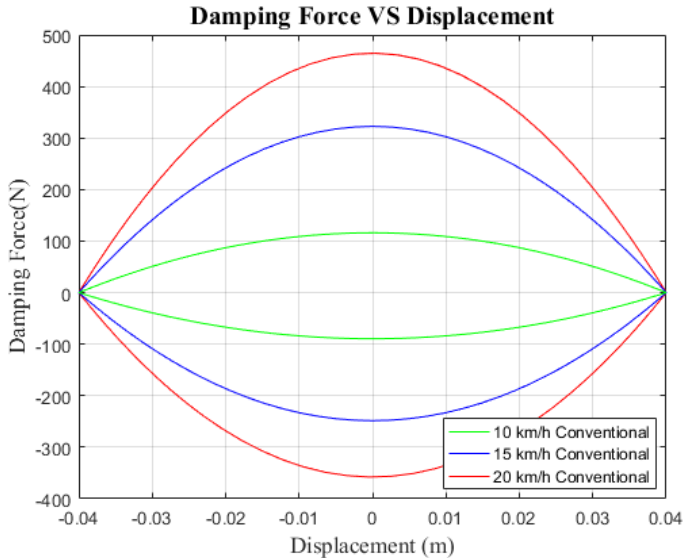
4.1.1 Parameter Simulasi

Simulasi yang dilakukan mengacu pada data *Conventional Shock Absorber* dan sistem HMERSA yang telah ditentukan sebelumnya. Data parameter sistem HMERSA yang dimasukkan ke dalam *M-File* ditunjukkan pada tabel 3.1 dan 3.2.

4.1.2 Gaya Redam (F_d)

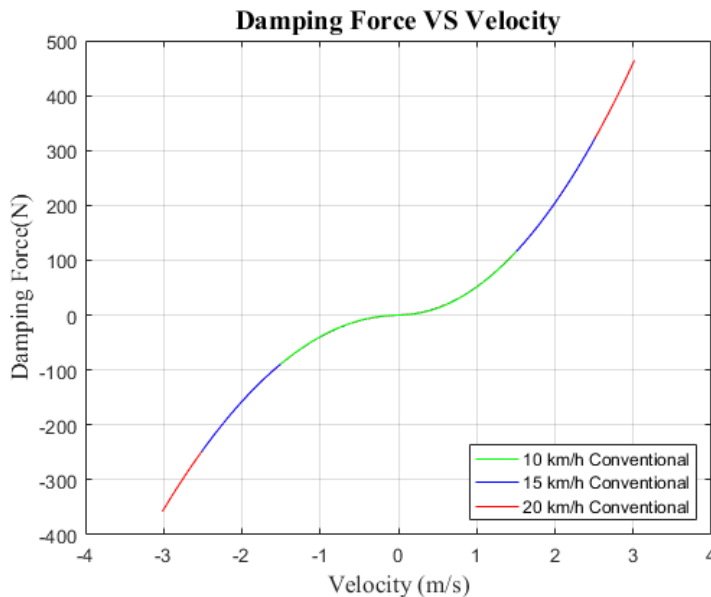
Simulasi pertama yang dilakukan adalah simulasi *Conventional Shock Absorber* pada seperempat kendaraan. Terdapat tiga variasi *input* frekuensi yang digunakan, yaitu sebesar 3.472 Hz atau dengan kecepatan kendaraan 10 km/jam, 5.208 Hz atau dengan kecepatan kendaraan 15 km/jam, dan 6,944 Hz atau dengan kecepatan kendaraan 20 km/jam. Setelah *M-File* dan blok diagram selesai disusun dan di jalankan tanpa adanya *error*, maka grafik yang sudah di plot akan muncul. Hasil dari simulasi *Conventional Shock Absorber* ini adalah didapatkan 2 jenis grafik, yaitu grafik gaya redam terhadap perpindahan dan grafik gaya

redam terhadap kecepatan. Kedua grafik tersebut ditunjukkan pada gambar 4.1 dan 4.2.



Gambar 4.1 Grafik Gaya Redam Terhadap Perpindahan
Conventional Shock Absorber

Pada gambar 4.1 dapat dilihat bahwa gaya redam bernilai maksimum ketika berada pada titik *displacement* 0 m atau piston berada pada posisi tengah *shock absorber*. Pada kondisi kompresi (pada grafik bernilai positif), piston yang bergerak dari titik tengah piston menuju ke titik batas bawah *shock absorber* akan mengalami pengurangan nilai gaya redam dari nilai maksimum sampai dengan gaya redam bernilai 0 N. Hal yang sama juga terjadi saat kondisi ekspansi (pada grafik bernilai negatif), piston yang bergerak dari titik tengah piston menuju ke titik batas atas *shock absorber* akan mengalami pengurangan nilai gaya redam dari nilai maksimum sampai dengan gaya redam bernilai 0 N.



Gambar 4.2 Grafik Gaya Redam Terhadap Kecepatan
Conventional Shock Absorber

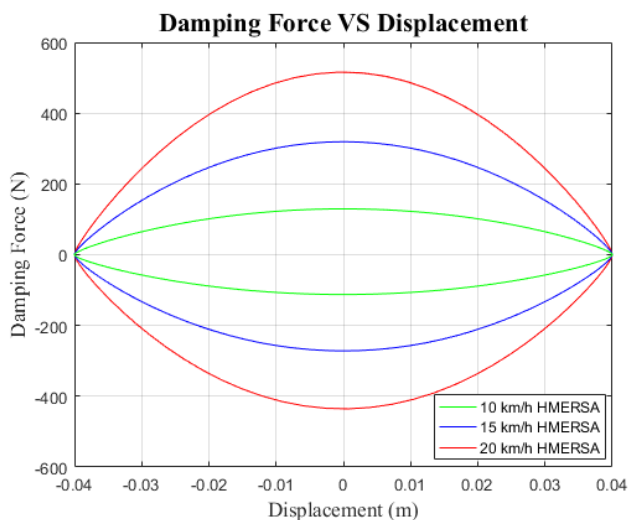
Dari gambar 4.1 dan 4.2, nilai gaya redam pada kecepatan kendaraan 10 km/jam paling kecil dibandingkan dengan kecepatan kendaraan lainnya, yaitu sebesar 116.1 N saat kondisi kompresi, dan 89.09 N saat kondisi ekspansi. Nilai gaya redam pada kecepatan kendaraan 15 km/jam bernilai 322.6 N saat kondisi kompresi dan 248.5 N saat kondisi ekspansi. Sedangkan nilai gaya redam paling tinggi didapatkan pada kecepatan kendaraan 20 km/jam yang bernilai 464.5 N saat kondisi kompresi dan 357.7 N saat kondisi ekspansi.

Grafik di atas sesuai dengan teori, yaitu gaya redam yang semakin besar seiring dengan meningkatnya kecepatan kendaraan. Berdasarkan persamaan 2.24, ketika kecepatan kendaraan semakin

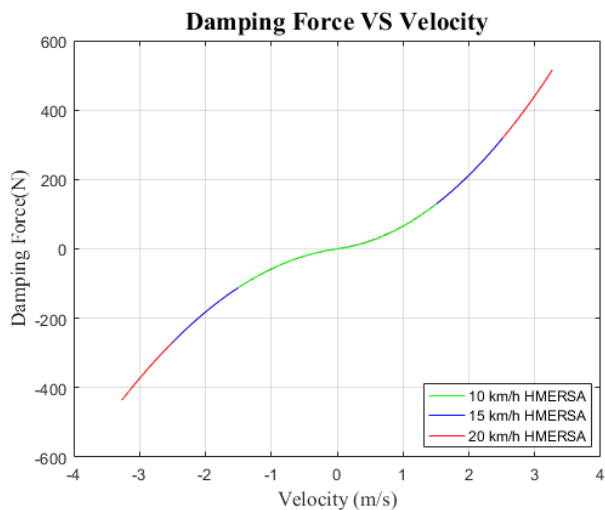
tinggi, maka kecepatan *shock absorber* juga semakin tinggi. Dengan persamaan $F_d = c\dot{x}$, maka seiring dengan bertambahnya kecepatan *shock absorber*, gaya redam akan semakin besar. Gaya redam pada kondisi kompresi lebih besar daripada gaya redam pada kondisi ekspansi. Hal itu dikarenakan beda luas area kerja antara kondisi kompresi dan ekspansi. Berdasarkan persamaan $F_d = PA$, nilai gaya redam berbanding lurus dengan besar luasan area kerja. Luas area kerja silinder hidrolik saat kompresi lebih besar karena menggunakan luas piston (A_p), sedangkan luas area kerja saat kondisi ekspansi menggunakan selisih antara luas piston dengan luas piston *rod* ($A_p - A_{pr}$).

4.1.3 Simulasi Sistem HMERSA dengan Variasi *Input* Frekuensi

Simulasi selanjutnya adalah simulasi sistem HMERSA pada seperempat kendaraan. Terdapat tiga variasi *input* frekuensi yang digunakan, yaitu sebesar 3.472 Hz atau dengan kecepatan kendaraan 10 km/jam, 5.208 Hz atau dengan kecepatan kendaraan 15 km/jam, dan 6,944 Hz atau dengan kecepatan kendaraan 20 km/jam. Setelah *M-File* dan blok diagram selesai disusun dan di jalankan tanpa adanya *error*, maka grafik yang sudah di plot akan muncul. Hasil dari simulasi sistem HMERSA ini adalah didapatkan 3 jenis grafik, yaitu grafik gaya redam terhadap perpindahan, grafik gaya redam terhadap kecepatan, dan grafik energi bangkitan terhadap waktu. Ketiga grafik tersebut ditunjukkan pada gambar 4.3, 4.4 dan 4.5.



Gambar 4.3 Grafik Gaya Redam Terhadap Perpindahan Sistem HMERSA



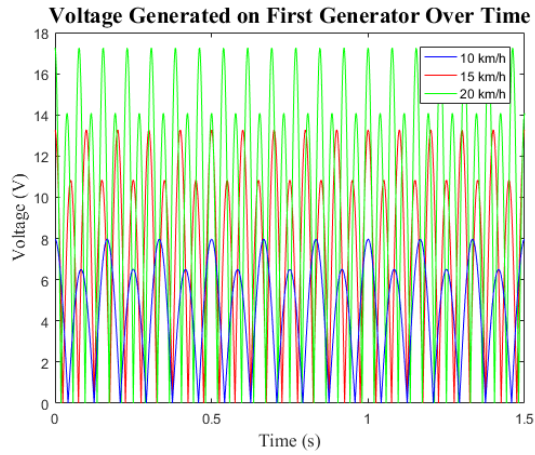
Gambar 4.4 Grafik Gaya Redam Terhadap Kecepatan Sistem HMERSA

Pada gambar 4.3 dapat dilihat bahwa gaya redam bernilai maksimum ketika berada pada titik *displacement* 0 m atau piston berada pada posisi tengah *shock absorber*. Pada kondisi kompresi (pada grafik bernilai positif), piston yang bergerak dari titik tengah piston menuju ke titik batas bawah *shock absorber* akan mengalami pengurangan nilai gaya redam dari nilai maksimum sampai dengan gaya redam bernilai 0 N. Hal yang sama juga terjadi saat kondisi ekspansi (pada grafik bernilai negatif), piston yang bergerak dari titik tengah piston menuju ke titik batas atas *shock absorber* akan mengalami pengurangan nilai gaya redam dari nilai maksimum sampai dengan gaya redam bernilai 0 N.

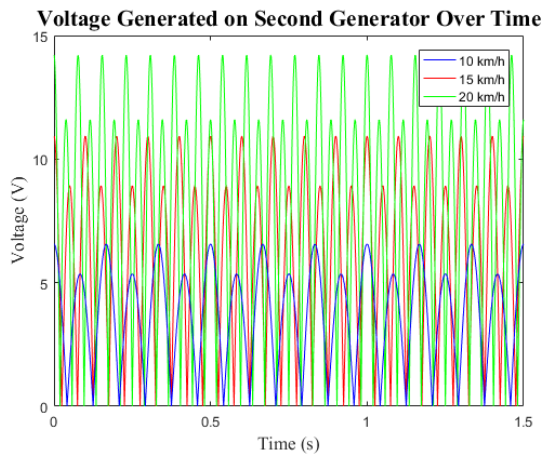
Dari gambar 4.3 dan 4.4, nilai gaya redam pada kecepatan kendaraan 10 km/jam paling kecil dibandingkan dengan kecepatan kendaraan lainnya, yaitu sebesar 129.6 N saat kondisi kompresi, dan 112.4 N saat kondisi ekspansi. Nilai gaya redam pada kecepatan kendaraan 15 km/jam bernilai 319.3 N saat kondisi kompresi dan 271.8 N saat kondisi ekspansi. Sedangkan nilai gaya redam paling tinggi didapatkan pada kecepatan kendaraan 20 km/jam yang bernilai 516 N saat kondisi kompresi dan 435.6 N saat kondisi ekspansi.

Grafik di atas sesuai dengan teori, yaitu gaya redam yang semakin besar seiring dengan meningkatnya kecepatan kendaraan. Berdasarkan persamaan 2.24, ketika kecepatan kendaraan semakin tinggi, maka kecepatan *shock absorber* juga semakin tinggi. Dengan persamaan $F_d = c\dot{x}$, maka seiring dengan bertambahnya kecepatan *shock absorber*, gaya redam akan semakin besar. Gaya redam pada kondisi kompresi lebih besar daripada gaya redam pada kondisi ekspansi. Hal itu dikarenakan beda luas area kerja antara kondisi kompresi dan ekspansi. Berdasarkan persamaan $F_d = PA$, nilai gaya redam berbanding lurus dengan besar luasan area kerja. Luas area kerja silinder hidrolik saat kompresi lebih besar karena menggunakan luas piston (A_p), sedangkan luas area

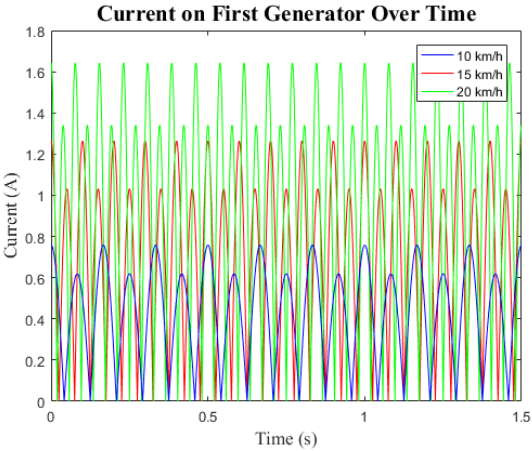
kerja saat kondisi ekspansi menggunakan selisih antara luas piston dengan luas piston *rod* ($A_p - A_{pr}$).



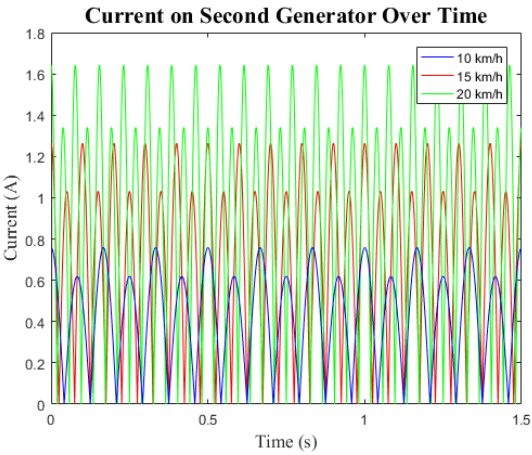
(a)



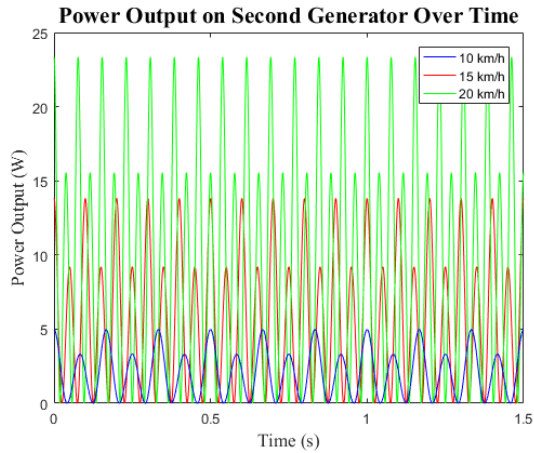
(b)



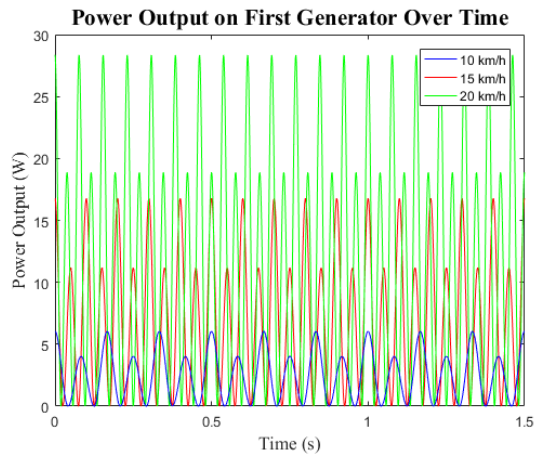
(c)



(d)



(e)



(f)

Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Simulasi (a) Tegangan Bangkitan Generator 1, (b) Tegangan Bangkitan Generator 2, (c) Arus Listrik Generator 1, (d) Arus Listrik Generator 2, (e) Daya Bangkitan Generator 1, (f) Daya Bangkitan Generator 1 pada sistem HMERSA

Grafik 4.5 menunjukkan hasil simulasi tegangan bangkitan, arus listrik bangkitan, dan daya bangkitan yang dihasilkan oleh sistem HMERSA. Pada kecepatan kendaraan 10 km/jam, didapatkan tegangan bangkitan sebesar 7.9 V pada generator 1 dan 6.55 V pada generator 2, arus listrik bangkitan sebesar 0.7412 A pada generator 1 dan 0.6244 A pada generator 2, dan daya bangkitan sebesar 3.77 W pada generator 1 serta 4.08 W pada generator 2. Pada kecepatan 15 km/jam, didapatkan tegangan bangkitan sebesar 13.17 V pada generator 1 dan 10.84 V pada generator 2, arus listrik bangkitan sebesar 1.254 A pada generator 1 dan 1.033 A pada generator 2, dan daya bangkitan sebesar 11 W pada generator 1 serta 11.2 W pada generator 2, dan pada kecepatan 20 km/jam, didapatkan tegangan bangkitan sebesar 17.17 V pada generator 1 dan 14.21 V pada generator 2, arus listrik bangkitan sebesar 1.643 A pada generator 1 dan 1.353 A pada generator 2, dan daya bangkitan sebesar 18.81 W pada generator 1 serta 19.22 W pada generator 2. Data tersebut ditunjukkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Perbandingan Simulasi Nilai Energi Bangkitan pada Sistem HMERSA

Kecepatan Kendaraan	Tegangan Bangkitan Gen 1	Tegangan Bangkitan Gen 2	Arus Listrik Gen 1	Arus Listrik Gen 2
10 km/jam	7.9 V	6.55 V	0.741 A	0.624 A
15 km/jam	13.17 V	10.84 V	1.254 A	1.033 A
20 km/jam	17.17 V	14.21 V	1.643 A	1.353 A

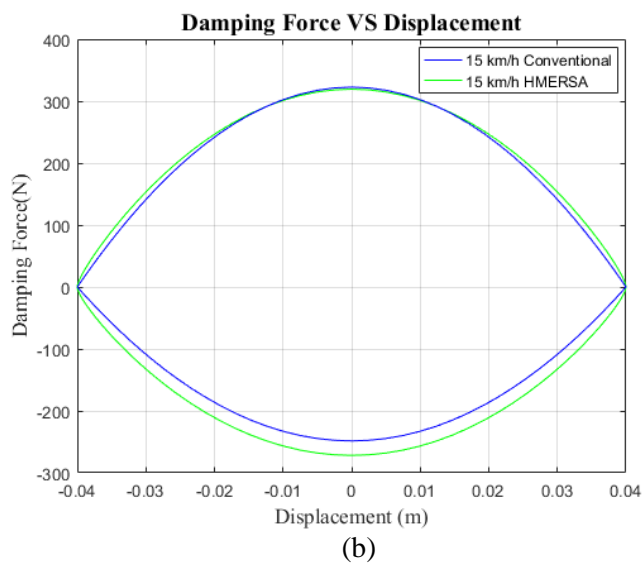
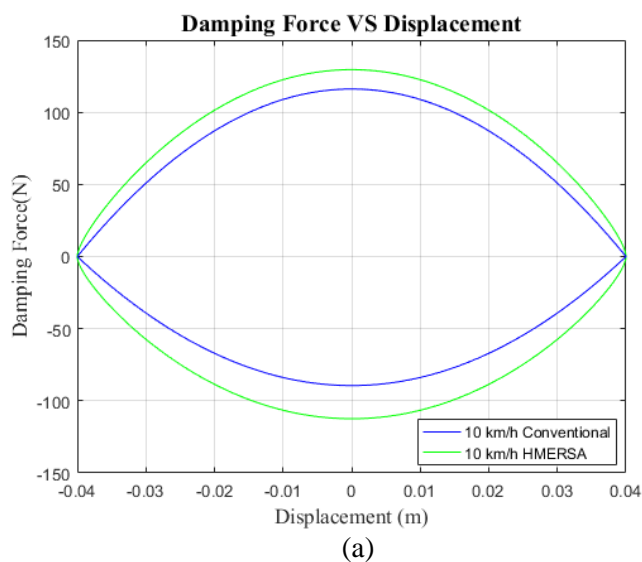
Daya Bangkitan Gen 1 (W)	Daya Bangkitan Gen 2 (W)
3.77 W	4.08 W
11 W	11.2 W
18.81 W	19.22 W

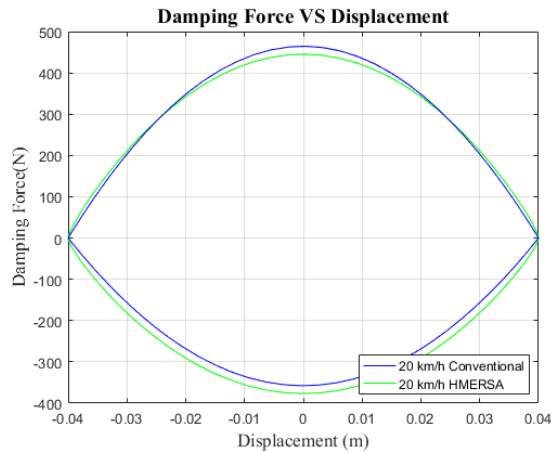
Hasil yang didapatkan tersebut sesuai dengan teori. Ketika kecepatan kendaraan rendah, maka saat melewati *bump*, perpindahan dan gaya redam *shock absorber* lebih kecil, sehingga fluida yang melewati generator hidraulis juga sedikit. Hal itu mengakibatkan kecilnya daya bangkitan yang dihasilkan. Sebaliknya, ketika kecepatan kendaraan tinggi, perpindahan dan gaya redam *shock absorber* akan besar, sehingga fluida yang melewati *shock absorber* juga akan banyak dan daya bangkitan yang dihasilkan lebih tinggi.

4.1.4 Perbandingan Hasil Simulasi *Conventional Shock Absorber* dengan Sistem HMERSA

Setelah didapatkan hasil simulasi *Conventional Shock Absorber* dan sistem HMERSA, perlu dilakukan perbandingan antara karakteristik gaya redam dari kedua sistem tersebut untuk mengetahui apakah sistem HMERSA dapat diimplementasikan pada kendaraan. Grafik perbandingan gaya redam terhadap perpindahan dan gaya redam terhadap kecepatan antara sistem *Conventional Shock Absorber* dan sistem HMERSA ditunjukkan pada gambar 4.6 dan gambar 4.7.

Dari hasil perbandingan pada gambar 4.6, dapat dilihat nilai gaya redam pada sistem HMERSA rata-rata lebih besar daripada *Coventional Shock Absorber*. Perbandingan nilai tersebut dapat dilihat pada tabel 4.2.





(c)

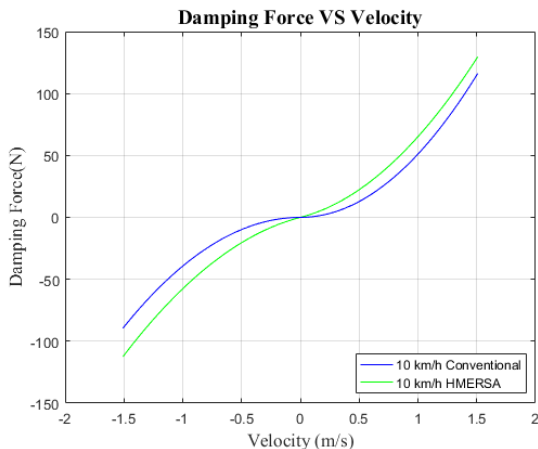
Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Gaya Redam Terhadap Perpindahan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, (c) 20 km/jam

Tabel 4.2 Perbandingan Simulasi Gaya Redam *Coventional Shock Absorber* terhadap Sistem HMERSA

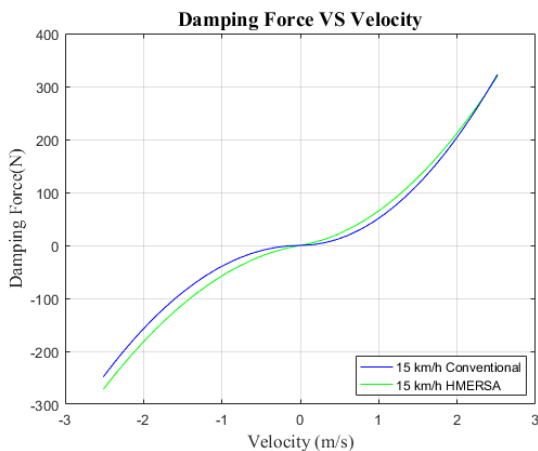
Kecepatan Kendaraan	Gaya Redam Kompresi (N)		Gaya Redam Ekspansi (N)	
	CSA	HMERSA	CSA	HMERSA
10 km/jam	116.1 N	129.6 N	89.09 N	112.4 N
15 km/jam	322.6 N	319.3 N	248.5 N	271.8 N
20 km/jam	464.5 N	516 N	357.7 N	435.6 N

Tabel 4.2 membuktikan bahwa nilai gaya redam pada *Coventional Shock Absorber* rata-rata bernilai mendekati dengan gaya redam sistem HMERSA. Hal itu juga dapat dilihat pada gambar 4.7 dengan perbandingan gaya redam terhadap kecepatan antara *Coventional Shock Absorber* dengan sistem HMERSA. Hasil tersebut sesuai dengan teori dimana penambahan komponen dan perubahan ukuran saluran akan mempengaruhi gaya redam. Pada sistem HMERSA, terdapat berbagai komponen tambahan

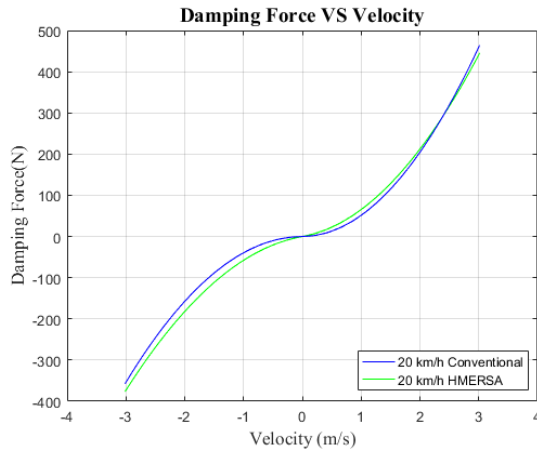
yang dipasang untuk menggantikan fungsi dari *orifice*. Komponen tersebut seperti pipa, *check valve*, motor hidrolik, dan lain-lain. Dengan adanya tambahan komponen-komponen tersebut, maka *losses* yang terjadi juga akan bertambah banyak, sehingga gaya yang diperlukan untuk menyalurkan fluida semakin besar dan menurunkan gaya redam yang dihasilkan.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Gaya Redam Terhadap Kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, (c) 20 km/jam

4.2 Perancangan dan Pengembangan Prototipe HMERSA

Pengembangan prototipe HMERSA terbagi menjadi 2 model, yaitu 1 *cycle* HMERSA dan 2 *cycle* HMERSA. Model tersebut dinamakan berdasarkan siklus kerja dari generator hidrolik. Model HMERSA yang dibuat dengan memanfaatkan komponen-komponen yang masih layak pakai dari penelitian sebelumnya. Komponen-komponen di cek dan dibersihkan dari debu dan karat. Pada 1 *cycle* HMERSA, pengembangan dilakukan dengan menambah ukuran diameter drat input dan output tabung reservoir menjadi 0,5 inch, penggantian selang hidrolik dari 0.25 inch ke ukuran 0.5 inch, penggantian salah satu *check valve*

Pembesaran ukuran diameter drat pada reservoir dilakukan dengan cara mengganti drat dengan ukuran yang lebih besar dan dilakukan pengelasan antara drat dengan tabung reservoir. Lalu lubang input dan outputnya di perbesar menjadi ½ inch dengan bor Bench Drilling Machine. Penggantian *check valve* dimaksudkan

untuk mempermudah aliran fluida untuk bergerak masuk kembali dari reservoir ke tabung *shock absorber*

Pada 2 *cycle* HMERSA, pengembangan dilakukan dengan menambah ukuran diameter lubang kompresi dan ekspansi pada tabung *shock absorber* menjadi 0.5 inch. Perubahan material pada saluran dari tabung *shock absorber* menuju generator juga diubah dengan menghilangkan selang hidraulis menjadi pipa dengan material besi dan kuningan. Sistem saluran dibuat kaku untuk mengurangi *losses* yang terjadi. Pada saluran reservoir, dilakukan pula penggantian selang menjadi berukuran 0.5 inch agar aliran fluida dapat lebih lancar saat masuk dan keluar dari reservoir. Pengecatan dilakukan pada setiap komponen logam agar terhindar dari korosi. Warna cat yang digunakan adalah warna hitam doo agar ketika terjadi kebocoran dapat terlihat.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.8 Tabung *shock absorber* modifikasi (a) tampak depan (b) tampak bagian dalam, (c) piston *shock absorber* dengan tutup dan *seal* nya

Pada saluran kompresi dan ekspansi 2 cycle HMERSA, terpasang 4 buah check valve yang membuat aliran menjadi searah. Tujuannya agar tekanan yang dihasilkan oleh pergerakan shock absorber dapat lebih maksimal saat memutar generator. Disamping itu, dengan aliran satu arah, putaran generator juga akan searah sehingga tidak merusak generator. Perancangan saluran di desain dengan memperhatikan maintenance sehingga dibuat agar semua komponen dapat di lepas dan di ganti.



(a)

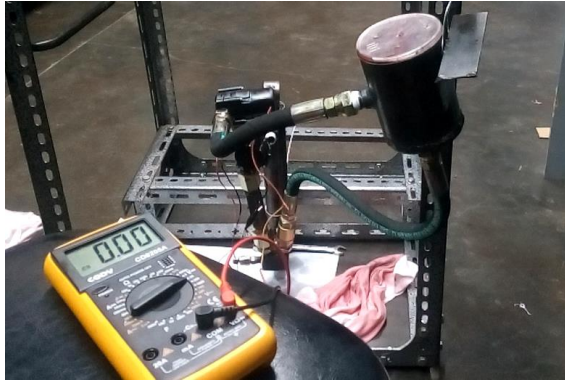


(b)

Gambar 4.9 (a) Pengeboran tabung reservoir (b) saluran kompresi dan ekspansi yang terintegrasi

Setelah HMERSA selesai di rakit, dilakukan percobaan untuk mengetahui apakah alat tersebut sudah layak di uji coba pada kendaraan angkut. Simulasi dimulai dengan memasukkan oli suspensi ke dalam reservoir lalu memompa tabung shock absorber perlahan sehingga oli dapat masuk ke dalam saluran dan tabung. Untuk memastikan apakah di dalam saluran sudah tidak ada udara, dapat dilakukan pemompaan beberapa kali dan melihat saat oli suspensi masuk ke dalam tabung reservoir. Jika terdapat gelembung udara artinya masih ada udara di dalam saluran. Lalu sambungkan Voltmeter ke setiap generator. Dengan melakukan pemompaan dapat diketahui apakah generator berputar dengan baik dan menghasilkan energi listrik yang diinginkan. Setelah itu

juga dilakukan pengecekan kebocoran pada setiap sisi saluran. Jika tidak terjadi kebocoran, maka alat tersebut sudah layak dipasang dan diujikan di kendaraan angkut.



(a)



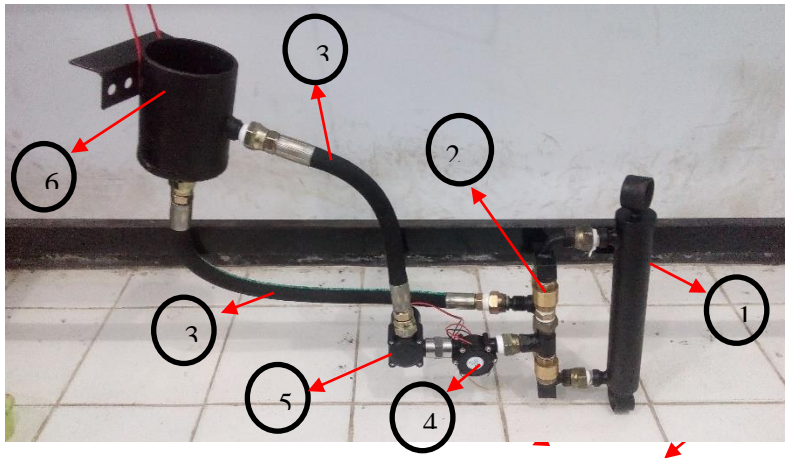
(b)

Gambar 4.10 Hasil perakitan HMERSA dan tegangan bangkitan
(a) saat sebelum di pompa (b) saat di pompa

4.3 Pengujian Sistem CSA dan HMERSA pada Kendaraan Angkut

Sebelum pengambilan data, mobil di persiapan terlebih dahulu agar data yang dihasilkan dapat menunjukkan nilai yang cukup akurat dan representatif dari simulasi yang dibuat. Hal tersebut seperti menambah tekanan ban sesuai standar jenis kendaraan, pengecekan *speedometer*, pengecekan sistem suspensi, dan pengecekan aki.

HMERSA yang telah selesai di desain kemudian dirakit dengan gabungan beberapa komponen, seperti pipa, *check valve*, *Modified T-Junction* Generator Hidraulis, dan lain-lain. Gambar dari HMERSA yang telah dirakit ditunjukkan pada gambar 4.10. Setelah dirakit, maka HMERSA dipasang pada kendaraan angkut.



Gambar 4.11 Sistem HMERSA

Keterangan gambar:

- 1 = *shock absorber* HMERSA
- 2 = *check valve*
- 3 = pipa Ø 1/2 in

- 4 = generator hidrolik 1
- 5 = generator hidrolik 2
- 6 = *reservoir* oli

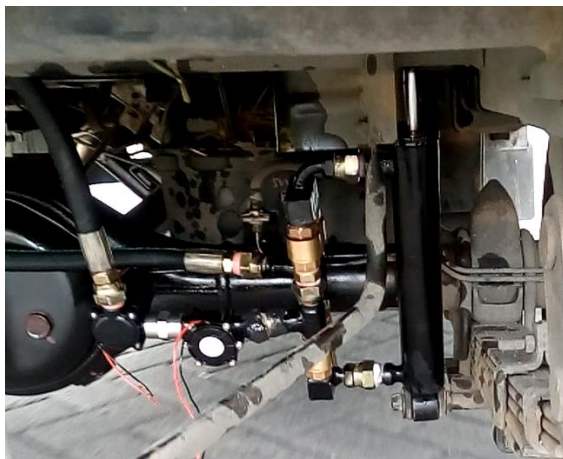
4.3.1 Pemasangan Sistem HMERSA pada Kendaraan Angkut

Pengujian sistem HMERSA dilakukan pada kendaraan angkut berjenis Suzuki Carry. Suzuki Carry dipilih karena merupakan salah satu jenis kendaraan angkut yang paling banyak digunakan oleh masyarakat Indonesia, ataupun pelaku-pelaku usaha yang akan memindahkan/mengirimkan barang dagangannya. Selain itu, bagian bawah bak dari Suzuki Carry juga luas, sehingga memudahkan pemasangan HMERSA tersebut. Bagian bawah bak dan proses pemasangan HMERSA dapat dilihat pada gambar 4.12.

Proses pemasangan HMERSA dimulai dengan melepas *Conventional Shock Absorber* pada sebelah kanan belakang kendaraan. Sisi sebelah kanan kendaraan dipilih karena bentuk dari sistem HMERSA yang cocok untuk dipasang pada sebelah kanan, dan juga karena posisi *shock absorber* sebelah kanan tidak tertutup oleh as roda, sehingga proses pemasangan akan lebih mudah. Setelah *shock absorber* dilepas, sistem HMERSA dipasang menggantikan tempat *shock absorber* sebelumnya. Untuk bagian *reservoir*, dipasang pada bagian *frame* yang lebih tinggi agar aliran oli suspensi lebih lancar.



(a)



(b)

Gambar 4.12 HMERSA yang Terpasang pada Kendaraan Angkut

Setelah HMERSA terpasang, sebelum diuji pada polisi tidur, dilakukan percobaan kembali untuk mengecek apakah generator dapat menghasilkan tegangan bangkitan dan *shock absorber* dapat berfungsi seperti *shock absorber* pada umumnya. Percobaan dilakukan dengan cara menggoyang mobil sehingga terjadi osilasi pada *shock absorber*. Saat diuji, sistem HMERSA dapat menghasilkan tegangan bangkitan sebesar 3.42 V dan sambungan-sambungan masih kokoh terpasang. Hal tersebut membuat sistem HMERSA sudah layak untuk di uji pada polisi tidur dengan kecepatan tertentu.



Gambar 4.13 HMERSA yang terpasang di uji dengan menggoyang mobil dalam keadaan diam

4.3.2 Instalasi Peralatan Pengambilan Data

Setelah HMERSA dipasang, peralatan lain untuk menunjang proses pengambilan data juga dipasang dan diatur baik posisi maupun pengaturan rangkaian. Alat-alat yang digunakan untuk mengambil data terdiri dari:

- **Oscilloscope Tektronix TBS1104:** Digunakan sebagai media penerima data dari *accelerometer* dan *probe* tegangan.



Gambar 4.14 *Oscilloscope* Tektronix TBS1104

- **Converter Tegangan DC ke AC:** Digunakan untuk mengubah tegangan DC dari aki mobil menjadi tegangan AC untuk memberikan daya kepada *oscilloscope*.



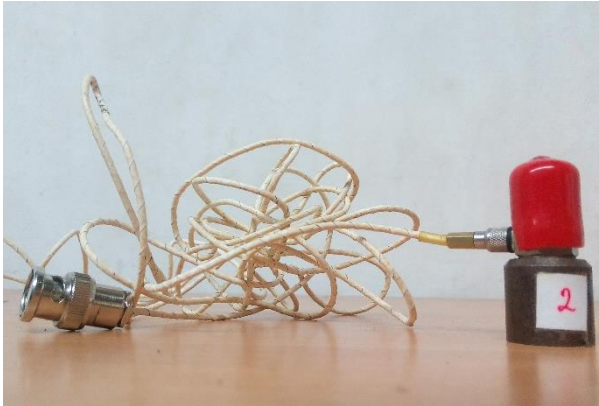
Gambar 4.15 *Converter Tegangan DC ke AC*

- ***Inverter***: Berfungsi untuk memperkuat sinyal dari *accelerometer* menuju ke *oscilloscope*.



Gambar 4.16 *Inverter*

- **Accelerometer:** Ditempelkan pada permukaan bak untuk mengukur data percepatan.



Gambar 4.17 *Probe Accelerometer*

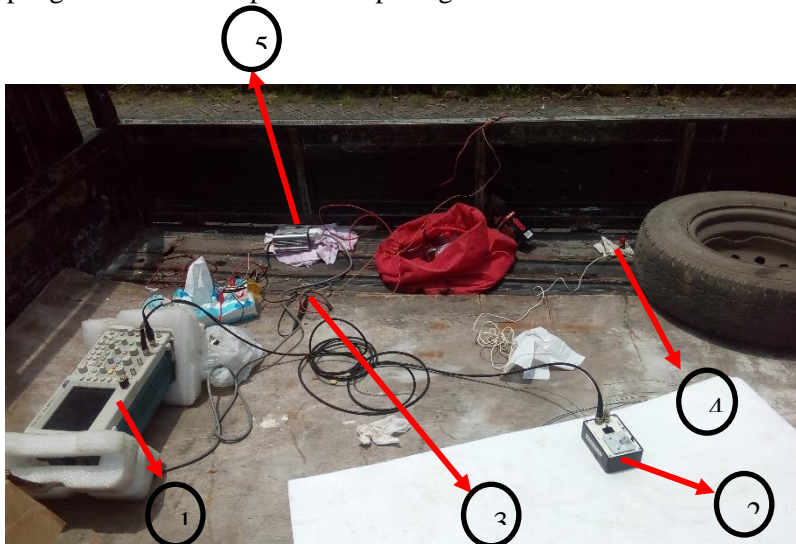
- **Probe Tegangan:** Untuk mengukur tegangan yang dihasilkan oleh generator HMERSA.



Gambar 4.18 *Probe Tegangan*

Saat pengambilan data, semua peralatan diletakkan di bak belakang untuk memudahkan proses pengambilan data. Urutan

pemasangan peralatan adalah pertama *converter* tegangan DC ke AC dihubungkan dengan sumber daya dari aki mobil dengan kabel listrik. Setelah *converter* terhubung, daya disambungkan ke *oscilloscope*. Kemudian *channel 4* pada *oscilloscope* dihubungkan pada probe tegangan yang telah tersambung dengan kabel dari generator. Kabel pasangan kabel tidak boleh salah antara positif dengan negatif. *Channel 3* dari *oscilloscope* disambungkan dengan *inverter* dan *accelerometer*. Sementara *accelerometer* dipasang pada bagian atas suspensi kanan belakang kendaraan. Instalasi alat pengambilan data dapat dilihat pada gambar 4.19.



Gambar 4.19 Instalasi Peralatan Pengambilan Data

Keterangan gambar:

- 1 = *oscilloscope* Tektronix TBS1104
- 2 = *inverter*
- 3 = *probe* tegangan
- 4 = *accelerometer*
- 5 = *converter*

4.3.3 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan lokasi di dalam lingkungan kampus ITS Surabaya, dengan jalan di depan perumahan dosen blok U. Pengambilan data dilakukan dengan variasi kecepatan 10 /jam, 15 km/jam dan 20 km/jam saat melewati *bump*. *Bump* yang dimaksud merupakan polisi tidur dengan dimensi lebar 40 cm, dan tinggi 15 cm. Pengambilan data membutuhkan tiga personil dengan pembagian tugas sebagai berikut, yaitu satu orang pengemudi mobil, satu operator peralatan pengambilan data, dan satu orang untuk dokumentasi.

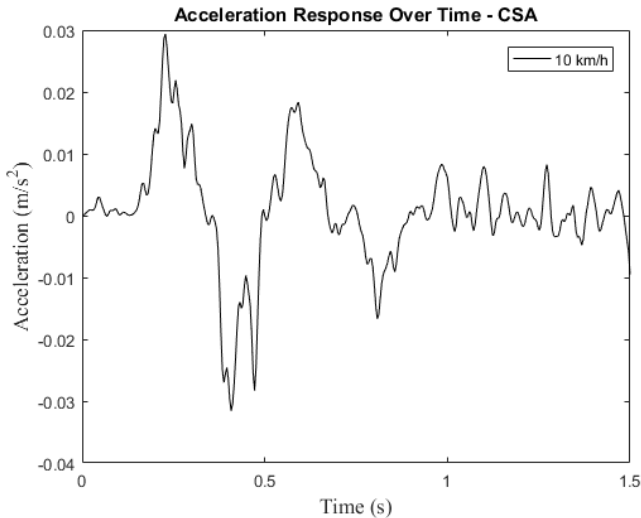
Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali dengan waktu yang berbeda. Pengujian pertama untuk menguji *Conventional Shock Absorber*, pengujian kedua untuk menguji 1 *Cycle* HMERSA, dan pengujian ketiga untuk menguji 2 *Cycle* HMERSA. Pengujian membutuhkan waktu sekitar enam jam saat menguji 2 *Cycle* HMERSA. Data yang diambil adalah tegangan bangkitan generator 1, tegangan bangkitan generator 1, dan respon percepatan *body* kendaraan bagian kanan belakang. Terdapat 18 data yang berhasil diperoleh dan layak untuk diolah.

4.4 Analisis Hasil Pengambilan Data

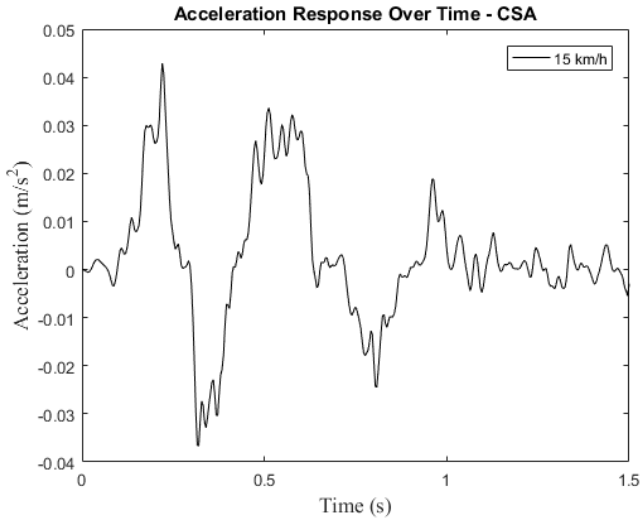
Setelah dilakukan pengambilan data, maka data tersebut diolah dan dilakukan analisis. Pengolahan data dilakukan dengan *software* Microsoft Excel dan juga MATLAB. Data yang didapatkan dari *oscilloscope* tidak dapat langsung digunakan sebagai hasil akhir karena terdapat terlalu banyak *noise* yang muncul pada saat pengujian. *Noise* yang muncul tersebut dapat di minimalkan dengan menggunakan program *filtering* dan *smoothing* yang tersedia dalam *software* MATLAB. Variasi yang dilakukan adalah dengan variasi kecepatan kendaraan 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam.

4.4.1 Analisis Respon Percepatan *Conventional Shock Absorber*

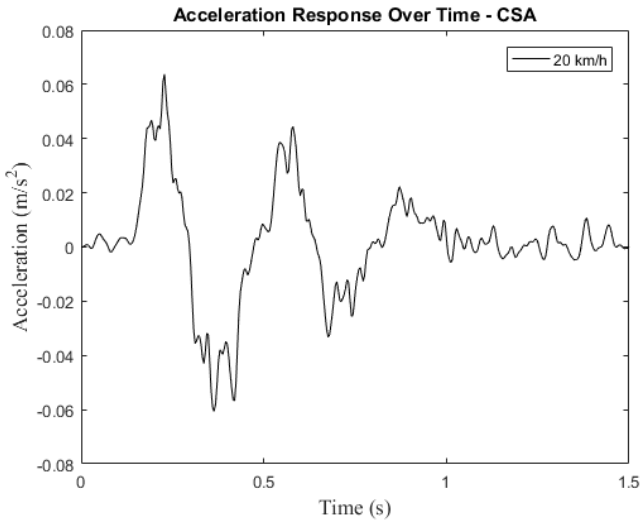
Respon percepatan *Conventional Shock Absorber* didapatkan dari *probe accelerometer* yang dipasang pada bak sebelah kiri atau di atas *Conventional Shock Absorber*. *Accelerometer* tersebut mengirimkan data ke *inverter* dan sinyal yang diterima diperbesar, sehingga *oscilloscope* dapat membaca hasil yang didapatkan dari *accelerometer*. Hasil yang didapatkan pada *oscilloscope* berupa voltase, sehingga perlu dilakukan pengolahan lagi dalam *software* Microsoft Excel untuk mendapatkan respon percepatan. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan respon percepatan dari hasil *oscilloscope* ditunjukkan pada persamaan 3.15.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.20 Grafik Respon Percepatan *Conventional Shock Absorber* Terhadap Waktu pada Kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, (c) 20 km/jam

Gambar 4.20 menunjukkan respon percepatan kendaraan saat melewati *bump* dengan kecepatan 10 km/jam. Respon percepatan maksimum yang didapatkan sebesar 0.012 m/s^2 . Kecepatan kendaraan 15 km/jam dengan respon percepatan maksimum sebesar 0.064 m/s^2 , dan kecepatan kendaraan 20 km/jam dengan respon percepatan maksimum sebesar 0.068 m/s^2 .

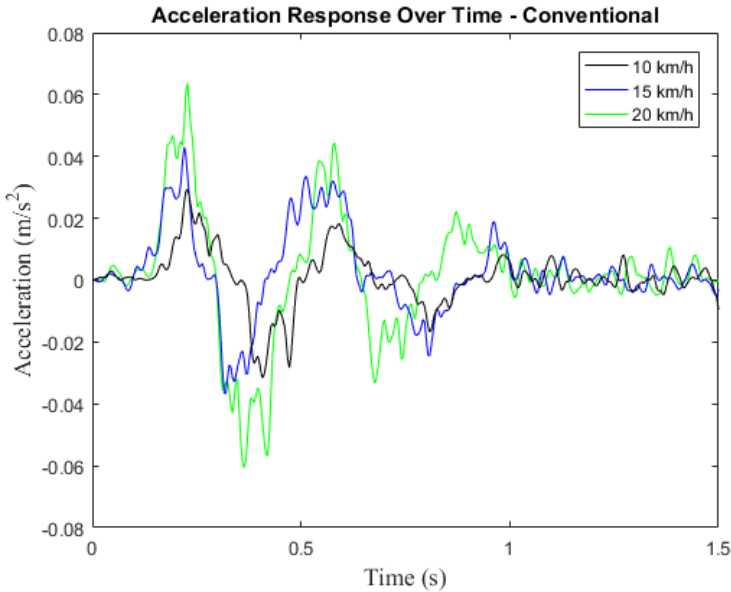
4.4.2 Perbandingan Respon Percepatan *Conventional Shock Absorber* dengan Variasi Kecepatan Kendaraan

Setelah dilakukan analisis respon percepatan pada masing-masing kecepatan kendaraan, maka ketiga hasil tersebut dibandingkan dalam satu grafik. Perbandingan tersebut dilakukan untuk mengetahui perbedaan karakteristik yang terjadi pada saat kecepatan kendaraan yang berbeda-beda. Kecepatan kendaraan yang dibandingkan adalah kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam. Perbandingan respon percepatan *Conventional Shock Absorber* dapat dilihat pada gambar 4.20, dan data perbandingan nilai respon percepatan maksimum dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Perbandingan Respon Percepatan Maksimum
Conventional Shock Absorber

Kecepatan (km/jam)	Respon Percepatan Maksimum (m/s^2)
10 km/jam	0.02938 m/s^2
15 km/jam	0.04292 m/s^2
20 km/jam	0.06076 m/s^2

Pada gambar 4.18, dapat dilihat bahwa respon percepatan pada kecepatan 10 km/jam memiliki nilai maksimum terkecil, yaitu sebesar 0.012 m/s^2 , kemudian respon percepatan pada kecepatan 15 km/jam yaitu sebesar 0.064 m/s^2 , dan yang terbesar pada kecepatan kendaraan 20 km/jam, yaitu sebesar 0.068 m/s^2 .



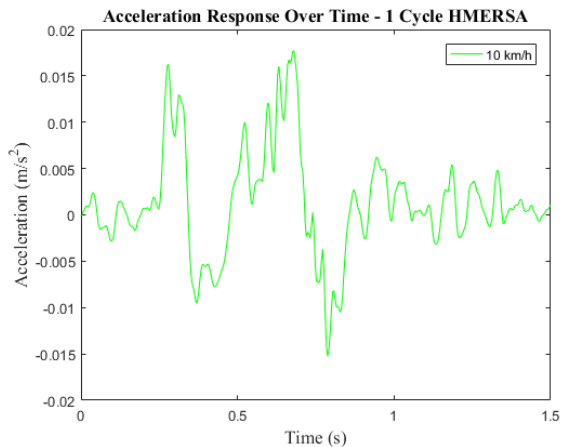
Gambar 4.21 Grafik Perbandingan Respon Percepatan pada *Conventional Shock Absorber* (10 km/jam, 15 km/jam, 20 km/jam)

Berdasarkan data yang diperoleh, terlihat bahwa semakin tinggi kecepatan kendaraan, respon percepatan juga semakin meningkat. Hal itu dikarenakan ketika kecepatan kendaraan tinggi dan melewati *bump*, gaya redam yang dihasilkan juga akan besar sesuai dengan persamaan $F_d = c\dot{x}$. Sehingga berdasarkan persamaan 2.24, ketika kecepatan kendaraan semakin tinggi, respon percepatan juga semakin tinggi.

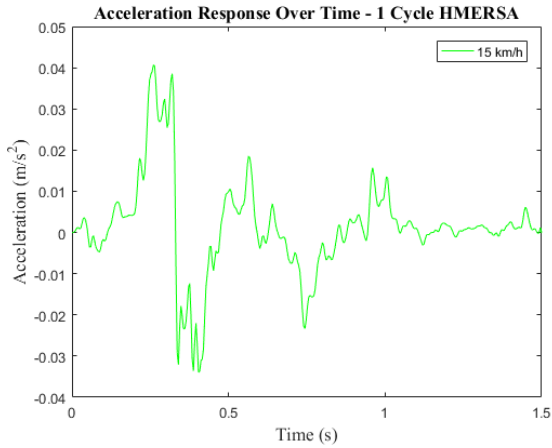
4.4.3 Perbandingan Respon Percepatan *Conventional Shock Absorber* dengan Variasi Kecepatan Kendaraan

Respon percepatan HMERSA didapatkan dari *probe accelerometer* yang dipasang pada bak sebelah kanan atau di atas sistem HMERSA. *Accelerometer* tersebut mengirimkan data ke *inverter* dan sinyal yang diterima diperbesar, sehingga *oscilloscope* dapat membaca hasil yang didapatkan dari *accelerometer*. Hasil yang didapatkan pada *oscilloscope* berupa voltase, sehingga perlu dilakukan pengolahan lagi dalam *software* Microsoft Excel untuk mendapatkan respon percepatan. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan respon percepatan dari hasil *oscilloscope* ditunjukkan pada persamaan 3.15.

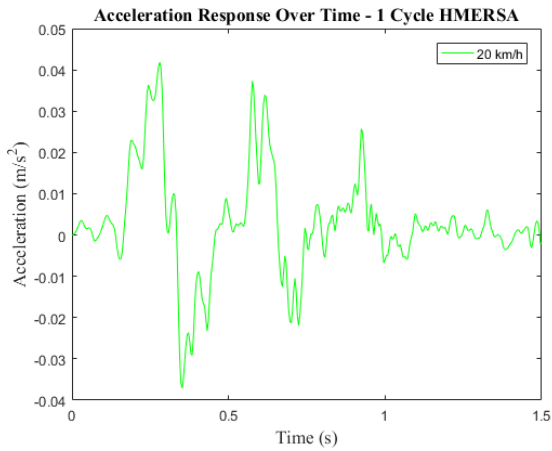
Gambar 4.22 menunjukkan respon percepatan kendaraan saat melewati *bump* dengan kecepatan 10 km/jam. Respon percepatan maksimum yang didapatkan sebesar 0.01772 m/s^2 . Kecepatan kendaraan 15 km/jam dengan respon percepatan maksimum sebesar 0.04064 m/s^2 , dan kecepatan kendaraan 20 km/jam dengan respon percepatan maksimum sebesar 0.04183 m/s^2 .



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.22 Grafik Respon Percepatan Sistem 2 Cycle HMERSA Terhadap Waktu pada Kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, (c) 20 km/jam

4.4.4 Perbandingan Respon Percepatan 1 Cycle HMERSA dengan Variasi Kecepatan Kendaraan

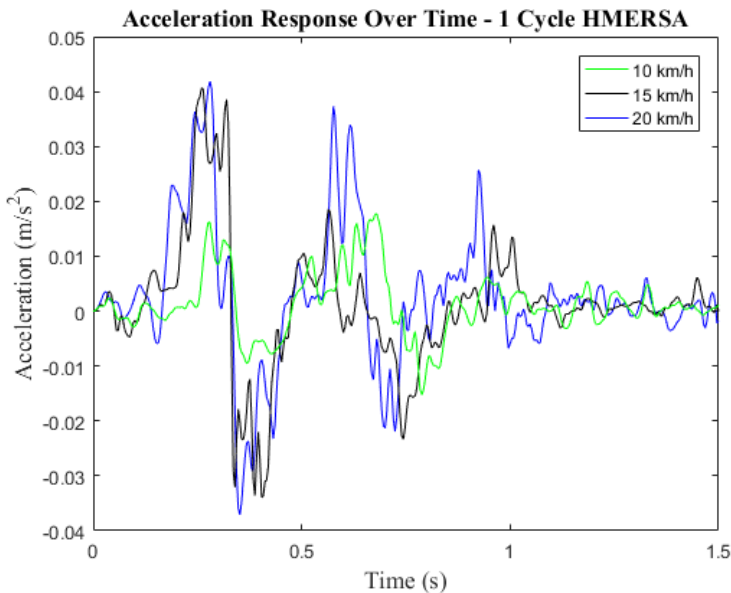
Setelah dilakukan analisis respon percepatan pada masing-masing kecepatan kendaraan, maka ketiga hasil tersebut dibandingkan dalam satu grafik. Perbandingan tersebut dilakukan untuk mengetahui perbedaan karakteristik yang terjadi pada saat kecepatan kendaraan yang berbeda-beda. Kecepatan kendaraan yang dibandingkan adalah kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam. Perbandingan respon percepatan system 1 Cycle HMERSA dapat dilihat pada gambar 4.23, dan data perbandingan nilai respon percepatan maksimum dapat dilihat pada tabel 4.4.

Pada gambar 4.23, dapat dilihat bahwa respon percepatan pada kecepatan 10 km/jam memiliki nilai maksimum terkecil, yaitu sebesar 0.01772 m/s^2 , kemudian respon percepatan pada kecepatan 15 km/jam yaitu sebesar 0.04064 m/s^2 , dan yang terbesar pada kecepatan kendaraan 20 km/jam, yaitu sebesar 0.04183 m/s^2 .

Tabel 4.4 Perbandingan Respon Percepatan Maksimum 1 Cycle HMERSA

Kecepatan (km/jam)	Respon Percepatan Maksimum (m/s^2)
10 km/jam	0.01772 m/s^2
15 km/jam	0.04064 m/s^2
20 km/jam	0.04183 m/s^2

Berdasarkan data yang diperoleh, terlihat bahwa semakin tinggi kecepatan kendaraan, respon percepatan juga semakin meningkat. Hal itu dikarenakan ketika kecepatan kendaraan tinggi dan melewati *bump*, gaya redam yang dihasilkan juga akan besar sesuai dengan persamaan $F_d = c\dot{x}$. Sehingga berdasarkan persamaan 2.24, ketika kecepatan kendaraan semakin tinggi, respon percepatan juga semakin tinggi.



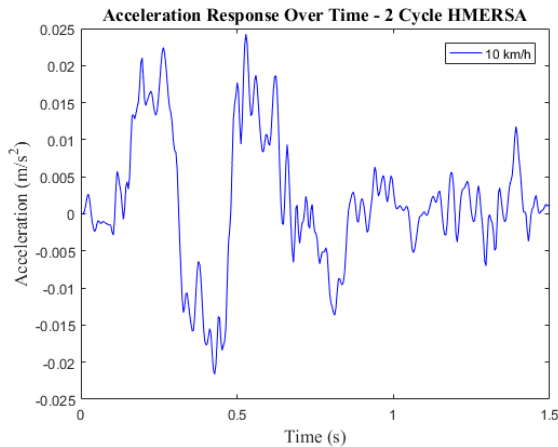
Gambar 4.23 Grafik Perbandingan Respon Percepatan pada Sistem 1 Cycle HMERSA (10 km/jam, 15 km/jam, 20 km/jam)

4.4.5 Analisis Respon Percepatan 2 Cycle HMERSA

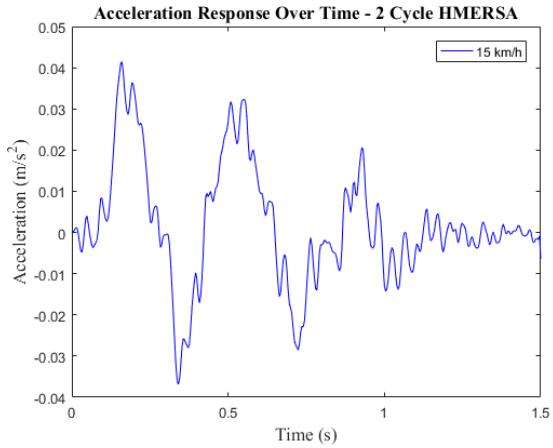
Respon percepatan HMERSA didapatkan dari *probe accelerometer* yang dipasang pada bak sebelah kanan atau di atas sistem 2 cycle HMERSA. *Accelerometer* tersebut mengirimkan data ke *inverter* dan sinyal yang diterima diperbesar, sehingga *oscilloscope* dapat membaca hasil yang didapatkan dari *accelerometer*. Hasil yang didapatkan pada *oscilloscope* berupa

voltase, sehingga perlu dilakukan pengolahan lagi dalam *software* Microsoft Excel untuk mendapatkan respon percepatan. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan respon percepatan dari hasil *oscilloscope* ditunjukkan pada persamaan 3.15.

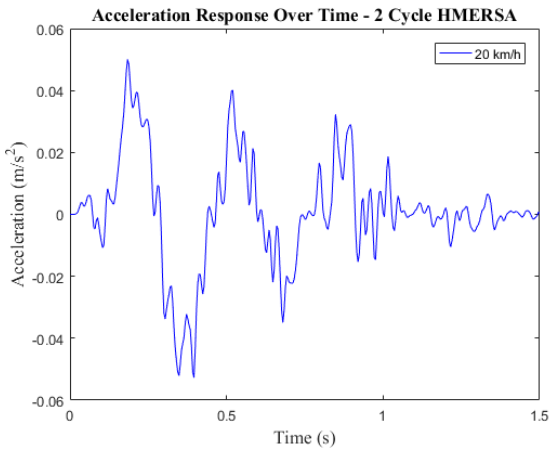
Gambar 4.24 menunjukkan respon percepatan kendaraan saat melewati *bump* dengan kecepatan 10 km/jam. Respon percepatan maksimum yang didapatkan sebesar 0.02424 m/s^2 . Kecepatan kendaraan 15 km/jam dengan respon percepatan maksimum sebesar 0.04082 m/s^2 , dan kecepatan kendaraan 20 km/jam dengan respon percepatan maksimum sebesar 0.05006 m/s^2 .



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.24 Grafik Respon Percepatan Sistem 2 Cycle
HMERSA Terhadap Waktu pada Kecepatan (a) 10 km/jam, (b)
15 km/jam, (c) 20 km/jam

4.4.6 Perbandingan Respon Percepatan 2 Cycle HMERSA dengan Variasi Kecepatan Kendaraan

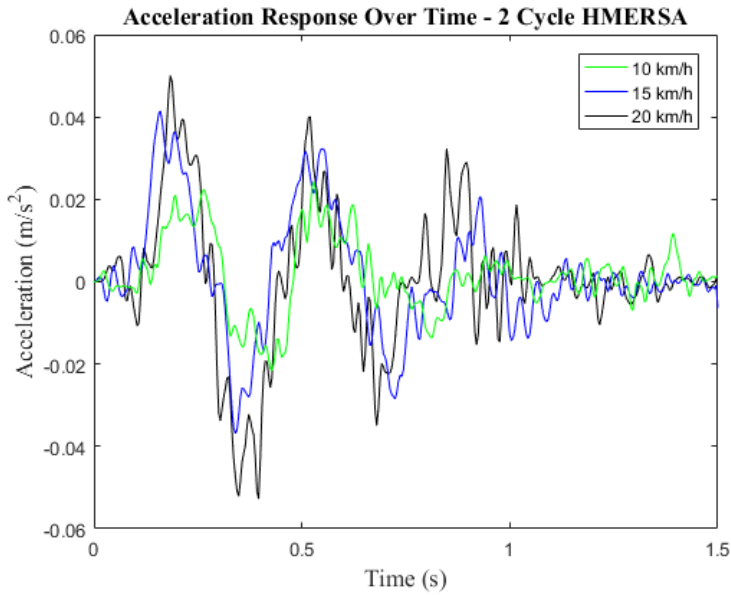
Setelah dilakukan analisis respon percepatan pada masing-masing kecepatan kendaraan, maka ketiga hasil tersebut dibandingkan dalam satu grafik. Perbandingan tersebut dilakukan untuk mengetahui perbedaan karakteristik yang terjadi pada saat kecepatan kendaraan yang berbeda-beda. Kecepatan kendaraan yang dibandingkan adalah kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam. Perbandingan respon percepatan sistem 2 Cycle HMERSA dapat dilihat pada gambar 4.25, dan data perbandingan nilai respon percepatan maksimum dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Perbandingan Respon Percepatan Maksimum 2 Cycle HMERSA

Kecepatan (km/jam)	Respon Percepatan Maksimum (m/s ²)
10 km/jam	0.02424 m/s ²
15 km/jam	0.04082 m/s ²
20 km/jam	0.05006 m/s ²

Pada gambar 4.25, dapat dilihat bahwa respon percepatan pada kecepatan 10 km/jam memiliki nilai maksimum terkecil, yaitu sebesar 0.02424 m/s², kemudian respon percepatan pada kecepatan 15 km/jam yaitu sebesar 0.04082 m/s², dan yang terbesar pada kecepatan kendaraan 20 km/jam, yaitu sebesar 0.05006 m/s².

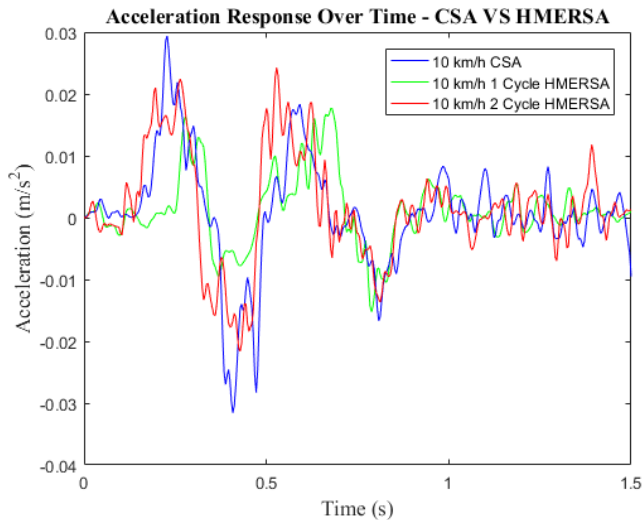
Berdasarkan data yang diperoleh, terlihat bahwa semakin tinggi kecepatan kendaraan, respon percepatan juga semakin meningkat. Hal itu dikarenakan ketika kecepatan kendaraan tinggi dan melewati *bump*, gaya redam yang dihasilkan juga akan besar sesuai dengan persamaan $F_d = c\dot{x}$. Sehingga berdasarkan persamaan 2.24, ketika kecepatan kendaraan semakin tinggi, respon percepatan juga semakin tinggi.



Gambar 4.25 Grafik Perbandingan Respon Percepatan pada Sistem 2 cycle HMERSA (10 km/jam, 15 km/jam, 20 km/jam)

4.4.7 Perbandingan Respon Percepatan *Conventional Shock Absorber* dengan 1 Cycle HMERSA dan 2 Cycle HMERSA pada Kecepatan 10 km/jam

Respon percepatan yang telah didapatkan dari eksperimen kemudian dibandingkan dalam satu grafik. Perbandingan dilakukan untuk mengetahui perbedaan karakteristik antara *Conventional Shock Absorber* dengan 1 cycle HMERSA dan 2 cycle HMERSA. Perbandingan tersebut ditunjukkan pada gambar 4.26.



Gambar 4.26 Grafik Perbandingan Respon Percepatan pada *Conventional Shock Absorber* dengan 1 cycle HMERSA dan 2 cycle HMERSA (10 km/jam)

Pada gambar 4.26, terlihat bahwa respon percepatan pada 1 cycle HMERSA dan 2 cycle HMERSA dengan nilai 0.01772 m/s^2 dan 0.02424 m/s^2 lebih kecil daripada respon percepatan *Conventional Shock Absorber* dengan nilai 0.02938 m/s^2 seperti ditunjukkan pada tabel 4.6. Perbandingan respon percepatan yang didapatkan pada pengujian dengan kecepatan kendaraan 10 km/jam tidak sesuai dengan teori. Berdasarkan teori, semakin tinggi gaya redam, semakin kecil respon percepatan yang dihasilkan. Selisih antara gaya dari *bump* (Ft) dengan gaya redam akan menjadi lebih kecil ketika gaya redam tinggi, sehingga ketika dibagi dengan massa kendaraan, respon percepatan yang dihasilkan juga akan semakin kecil.

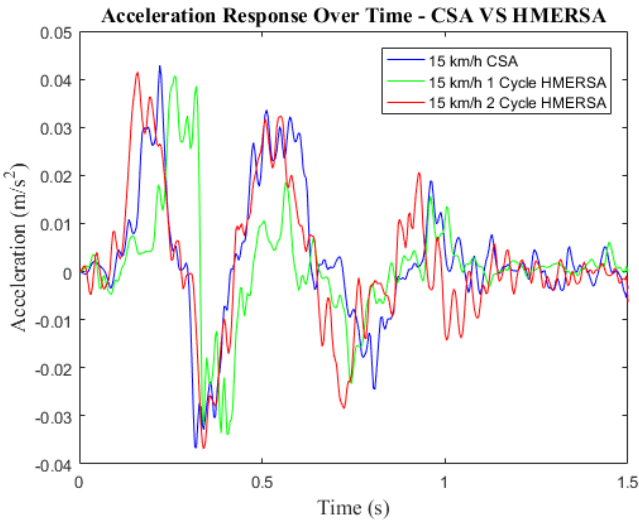
Hasil data yang didapatkan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti keausan silinder HMERSA sehingga mengurangi gaya redam yang dihasilkan, dan juga kecepatan pengujian kendaraan yang tidak tepat.

Tabel 4.6 Perbandingan Nilai Respon Percepatan pada *Conventional Shock Absorber* dengan 1 cycle HMERSA dan 2 cycle HMERSA (10 km/jam)

Jenis	Respon Percepatan Maksimum (m/s ²)
1 cycle HMERSA	0.01772 m/s ²
2 cycle HMERSA	0.02424 m/s ²
CSA	0.02938 m/s ²

4.4.8 Perbandingan Respon Percepatan *Conventional Shock Absorber* dengan 1 Cycle HMERSA dan 2 Cycle HMERSA pada Kecepatan 15 km/jam

Respon percepatan yang telah didapatkan dari eksperimen kemudian dibandingkan dalam satu grafik. Perbandingan dilakukan untuk mengetahui perbedaan karakteristik antara *Conventional Shock Absorber* dengan HMERSA. Perbandingan tersebut ditunjukkan pada gambar 4.27.



Gambar 4.27 Grafik Perbandingan Respon Percepatan pada *Conventional Shock Absorber* dengan 1 cycle HMERSA dan 2 cycle HMERSA (15 km/jam)

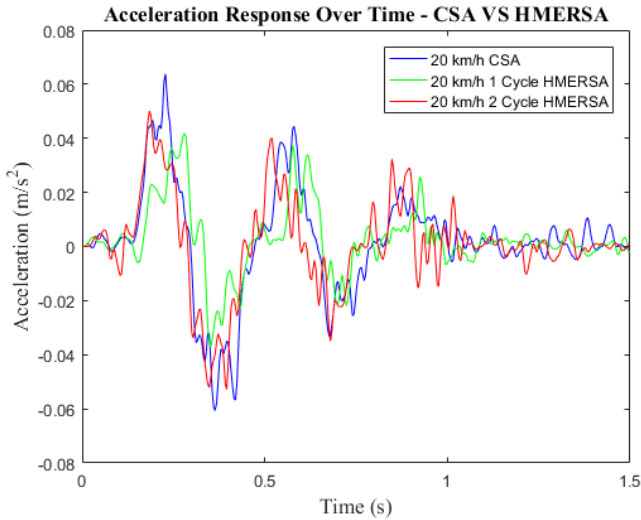
Pada gambar 4.27, terlihat bahwa respon percepatan pada HMERSA dengan nilai 0.04064 m/s^2 dan 0.04082 m/s^2 lebih kecil daripada respon percepatan *Conventional Shock Absorber* dengan nilai 0.04292 m/s^2 seperti ditunjukkan pada tabel 4.7. Perbandingan respon percepatan yang didapatkan pada pengujian dengan kecepatan kendaraan 15 km/jam sesuai dengan teori. Berdasarkan teori, semakin tinggi gaya redam, semakin kecil respon percepatan yang dihasilkan. Selisih antara gaya dari *bump* (Ft) dengan gaya redam akan menjadi lebih kecil ketika gaya redam tinggi, sehingga ketika dibagi dengan massa kendaraan, respon percepatan yang dihasilkan juga akan semakin kecil. Dalam hal ini, gaya redam dari sistem HMERSA lebih besar daripada gaya redam *Conventional Shock Absorber*, sehingga hasil yang didapatkan sudah sesuai dengan teori.

Tabel 4.7 Perbandingan Nilai Respon Percepatan pada *Conventional Shock Absorber* dengan 1 cycle HMERSA dan 2 cycle HMERSA (15 km/jam)

Jenis	Respon Percepatan Maksimum (m/s^2)
1 cycle HMERSA	0.04064 m/s^2
2 cycle HMERSA	0.04082 m/s^2
CSA	0.04292 m/s^2

4.4.9 Perbandingan Respon Percepatan *Conventional Shock Absorber* dengan 1 Cycle HMERSA dan 2 Cycle HMERSA pada Kecepatan 20 km/jam

Respon percepatan yang telah didapatkan dari eksperimen kemudian dibandingkan dalam satu grafik. Perbandingan dilakukan untuk mengetahui perbedaan karakteristik antara *Conventional Shock Absorber* dengan HMERSA. Perbandingan tersebut ditunjukkan pada gambar 4.28.



Gambar 4.28 Grafik Perbandingan Respon Percepatan pada *Conventional Shock Absorber* dengan 1 cycle HMERSA dan 2 cycle HMERSA (20 km/jam)

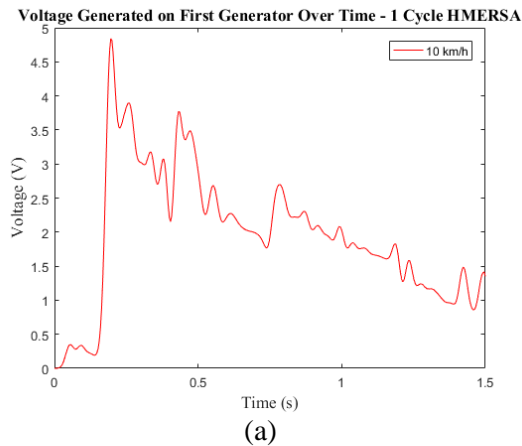
Pada gambar 4.28, terlihat bahwa respon percepatan pada HMERSA dengan nilai 0.04183 m/s^2 dan 0.05006 m/s^2 lebih kecil daripada respon percepatan *Conventional Shock Absorber* dengan nilai 0.06076 m/s^2 seperti ditunjukkan pada tabel 4.8. Perbandingan respon percepatan yang didapatkan pada pengujian dengan kecepatan kendaraan 20 km/jam sesuai dengan teori. Berdasarkan teori, semakin tinggi gaya redam, semakin kecil respon percepatan yang dihasilkan. Selisih antara gaya dari *bump* (Ft) dengan gaya redam akan menjadi lebih kecil ketika gaya redam tinggi, sehingga ketika dibagi dengan massa kendaraan, respon percepatan yang dihasilkan juga akan semakin kecil. Dalam hal ini, gaya redam dari sistem HMERSA lebih besar daripada gaya redam *Conventional Shock Absorber*, sehingga hasil yang didapatkan sudah sesuai dengan teori.

Tabel 4.8 Perbandingan Nilai Respon Percepatan pada *Conventional Shock Absorber* dengan 1 cycle HMERSA dan 2 cycle HMERSA (20 km/jam)

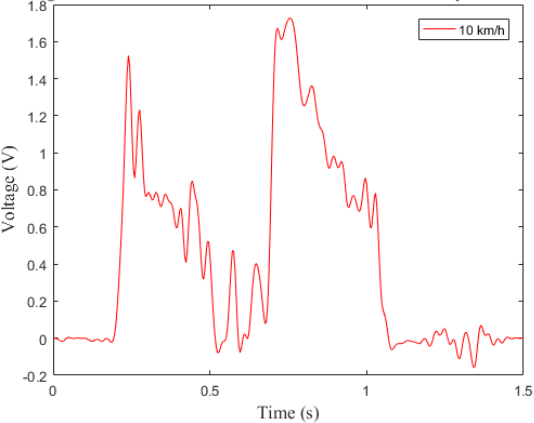
Jenis	Respon Percepatan Maksimum (m/s ²)
1 cycle HMERSA	0.04183 m/s ²
2 cycle HMERSA	0.05006 m/s ²
CSA	0.06076 m/s ²

4.4.10 Analisis Tegangan Bangkitan pada sistem 1 Cycle HMERSA

Sistem HMERSA yang dipasang pada kendaraan dapat menghasilkan energi dari pemanfaatan fluida oli suspensi yang mengalir akibat tekanan oleh piston yang mendapatkan gaya dari *bump*. Fluida tersebut kemudian memutar generator hidraulis yang kemudian dapat menghasilkan listrik. Energi listrik yang dihasilkan oleh generator kemudian didata oleh *oscilloscope*, dan dilakukan *filtering* dan *smoothing* untuk menghilangkan *noise*. Tegangan yang dihasilkan oleh generator saat kendaraan melewati *bump* pada kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam dapat dilihat pada gambar 4.29.

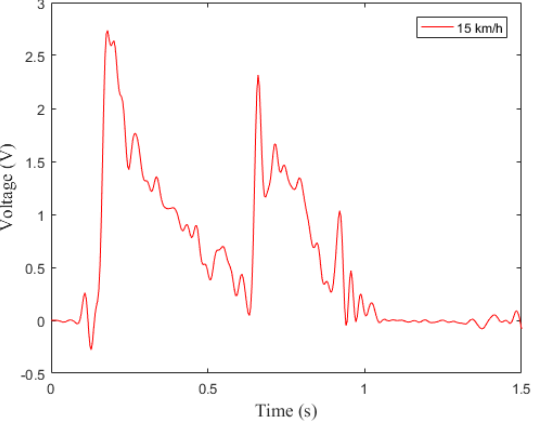


Voltage Generated on Second Generator Over Time - 1 Cycle HMERSA

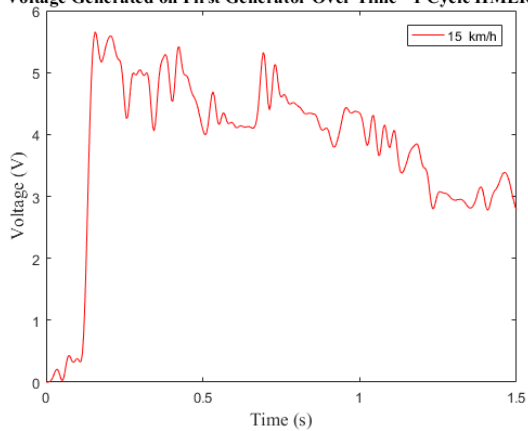


(b)

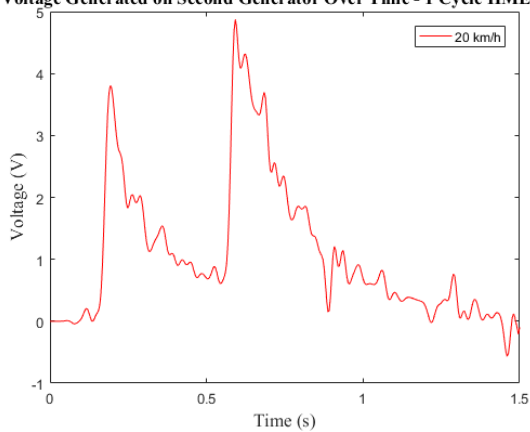
Voltage Generated on Second Generator Over Time - 1 Cycle HMERSA



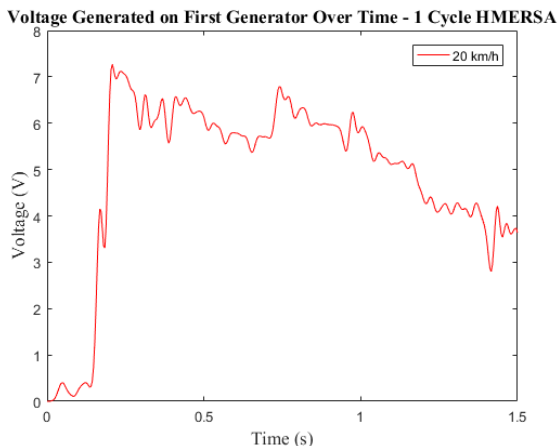
(c)

Voltage Generated on First Generator Over Time - 1 Cycle HMERSA

(d)

Voltage Generated on Second Generator Over Time - 1 Cycle HMERSA

(e)



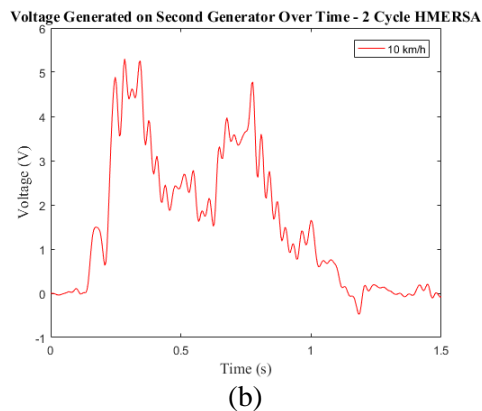
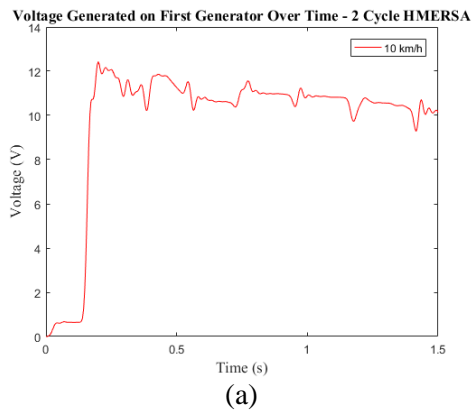
Gambar 4.29 Grafik Tegangan Bangkitan Terhadap Waktu 1 Cycle HMERSA pada Kecepatan (a) 10 km/jam generator 1, (b) 10 km/jam generator 2, (c) 15 km/jam generator 1, (d) 15 km/jam generator 2, (e) 20 km/jam generator 1, (f) 20 km/jam generator 2

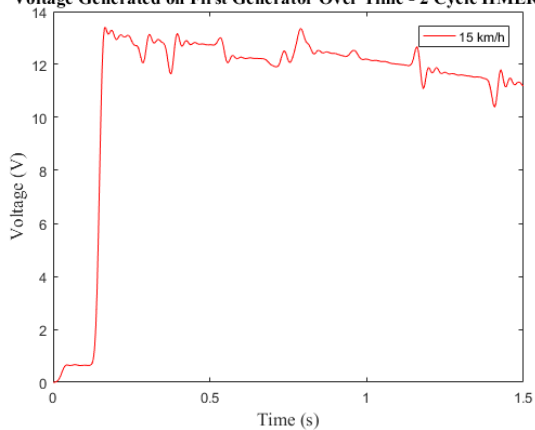
Pada grafik di atas terlihat bahwa tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 10 km/jam adalah sebesar 4.814 V pada generator 1 dan 1.727 V pada generator 2. Tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 15 km/jam adalah sebesar 5.656 V pada generator 1 dan 2.737 V pada generator 2. Tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 20 km/jam adalah sebesar 7.274 V pada generator 1 dan 4.872 V pada generator 2.

4.4.11 Analisis Tegangan Bangkitan pada sistem 2 Cycle HMERSA

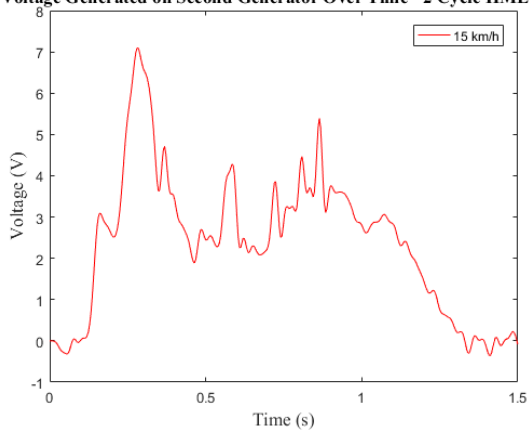
Sistem HMERSA yang dipasang pada kendaraan dapat menghasilkan energi dari pemanfaatan fluida oli suspensi yang mengalir akibat tekanan oleh piston yang mendapatkan gaya dari

bump. Fluida tersebut kemudian memutar generator hidraulis yang kemudian dapat menghasilkan listrik. Energi listrik yang dihasilkan oleh generator kemudian didata oleh *oscilloscope*, dan dilakukan *filtering* dan *smoothing* untuk menghilangkan *noise*. Tegangan yang dihasilkan oleh generator saat kendaraan melewati *bump* pada kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam dan 20 km/jam dapat dilihat pada gambar 4.30.

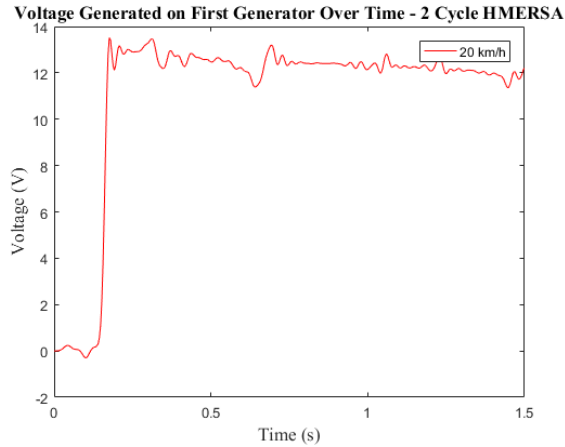


Voltage Generated on First Generator Over Time - 2 Cycle HMERSA

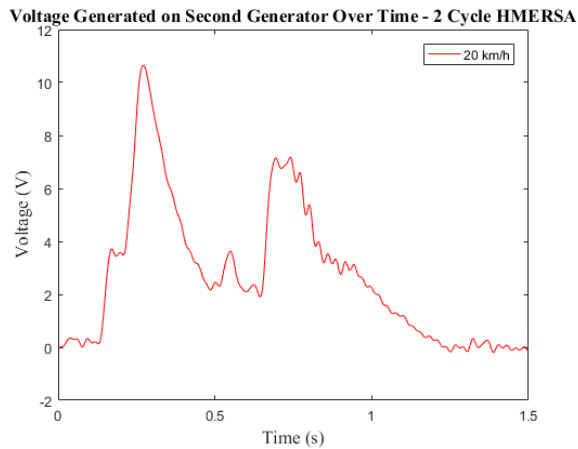
(c)

Voltage Generated on Second Generator Over Time - 2 Cycle HMERSA

(d)



(e)



(f)

Gambar 4.30 Grafik Tegangan Bangkitan Terhadap Waktu 2 Cycle HMERSA pada Kecepatan (a) 10 km/jam generator 1, (b) 10 km/jam generator 2, (c) 15 km/jam generator 1, (d) 15 km/jam generator 2, (e) 20 km/jam generator 1, (f) 20 km/jam generator 2

Pada grafik di atas terlihat bahwa tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 10 km/jam adalah sebesar 11.34 V pada generator 1 dan 5.301 V pada generator 2. Tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 15 km/jam adalah sebesar 13.39 V pada generator 1 dan 7.094 V pada generator 2. Tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 20 km/jam adalah sebesar 13.51 V pada generator 1 dan 10.65 V pada generator 2.

4.4.12 Perbandingan Tegangan Bangkitan 1 Cycle HMERSA dan 2 Cycle HMERSA pada Kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam pada Generator 2

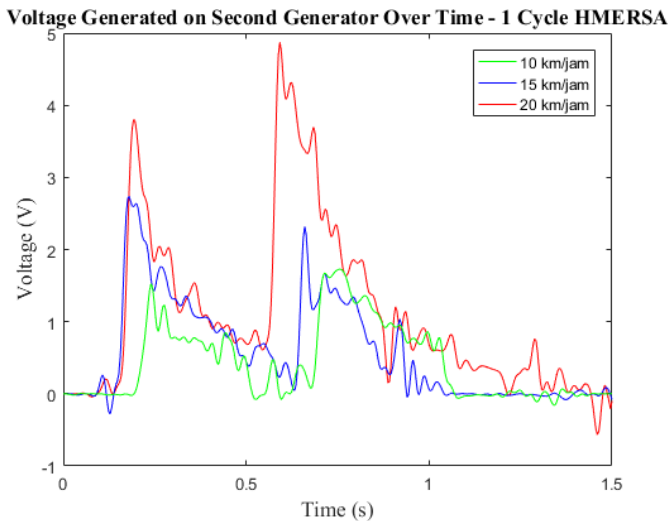
Data energi bangkitan yang didapatkan dari eksperimen dibandingkan dengan kecepatan yang berbeda dalam satu grafik. Perbandingan dilakukan untuk mengetahui pengaruh kecepatan kendaraan terhadap energi bangkitan yang dihasilkan. Perbandingan energi bangkitan tersebut ditunjukkan pada gambar 4.31 dan 4.32.

Pada gambar 4.31, sistem 1 Cycle HMERSA menunjukkan hasil tegangan bangkitan paling kecil terjadi pada kecepatan kendaraan 10 km/jam, yaitu sebesar 1.727 V, kemudian tegangan bangkitan pada kecepatan kendaraan 15 km/jam yaitu sebesar 2.737 V, dan tegangan bangkitan terbesar terjadi pada kecepatan kendaraan 20 km/jam, yaitu sebesar 4.872 V seperti ditunjukkan pada tabel 4.9.

Begitu pula pada gambar 4.32, sistem 2 Cycle HMERSA menunjukkan hasil tegangan bangkitan paling kecil terjadi pada kecepatan kendaraan 10 km/jam, yaitu sebesar 5.301 V, kemudian tegangan bangkitan pada kecepatan kendaraan 15 km/jam yaitu sebesar 7.094 V, dan tegangan bangkitan terbesar terjadi pada kecepatan kendaraan 20 km/jam, yaitu sebesar 10.65 V seperti ditunjukkan pada tabel 4.10.

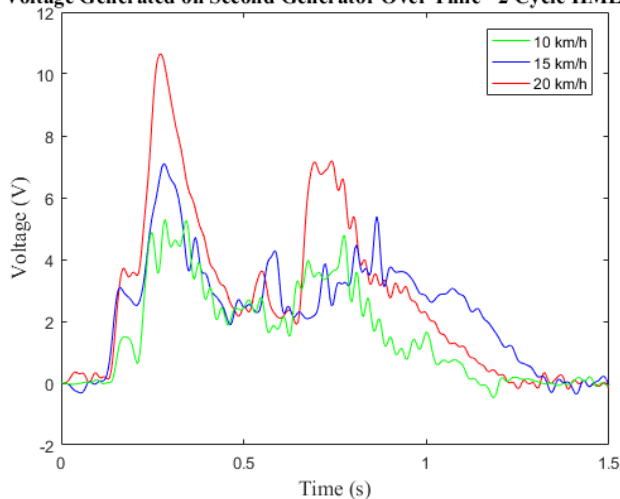
Data tersebut sudah sesuai teori, di mana dengan penambahan nilai kecepatan kendaraan, maka energi bangkitan akan semakin besar. Hal itu dikarenakan gaya redam yang tinggi

saat kecepatan kendaraan tinggi. Dengan gaya redam yang tinggi tersebut, maka oli suspensi akan menerima gaya yang lebih besar, sehingga aliran oli suspensi akan lebih kuat memutar motor hidrolik. Hal sebaliknya terjadi pada kecepatan rendah dengan gaya redam yang kecil, sehingga aliran oli suspensi menerima gaya yang lebih kecil, dan gaya untuk memutar motor hidrolik akan menjadi lebih kecil.



Gambar 4.31 Grafik Perbandingan Tegangan Bangkitan Terhadap Waktu pada 1 Cycle HMERSA (10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam)

Voltage Generated on Second Generator Over Time - 2 Cycle HMERSA



Gambar 4.32 Grafik Perbandingan Tegangan Bangkitan Generator 2 Terhadap Waktu pada 2 Cycle HMERSA (10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam)

Tabel 4.9 Perbandingan Tegangan Bangkitan Maksimum Generator 2 antara Kompresi dan Ekspansi pada 1 Cycle HMERSA (10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam)

Kecepatan (km/jam)	Tegangan Bangkitan saat Kompresi (V)
10 km/jam	1.727 V
15 km/jam	2.737 V
20 km/jam	4.872 V

Tabel 4.10 Perbandingan Tegangan Bangkitan Maksimum Generator 2 antara Kompresi dan Ekspansi pada 2 *Cycle* HMERSA (10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam)

Kecepatan (km/jam)	Tegangan Bangkitan saat Kompresi (V)	Tegangan Bangkitan saat Ekspansi (V)
10 km/jam	5.301 V	4.188 V
15 km/jam	7.094 V	4.279 V
20 km/jam	10.65 V	3.621 V

Pada 2 *cycle* HMERSA, grafik tegangan bangkitan pada generator 2 dapat menunjukkan nilai tegangan dari siklus kompresi dan ekspansi. Hal tersebut ditunjukkan dengan adanya 4 puncak dalam jeda waktu sekitar 1.2 s. Dengan pembuatan sistem tersebut membuat energi yang dihasilkan menjadi lebih berkelanjutan dan penyerapan energi terbuang menjadi lebih maksimal. Desain 2 *cycle* HMERSA juga membuat aliran fluida yang bergerak menjadi lebih efisien karena pengurangan *headloss* pada bentuk dan material saluran serta *check valve* yang dipakai.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah:

1. Telah dikembangkan *prototype* HMERSA yang dapat menyerap energi saat siklus kompresi maupun ekspansi sehingga dapat menghasilkan energi bangkitan yang lebih berkelanjutan.
2. Karakteristik gaya redam untuk *Conventional Shock Absorber* telah didapatkan dari hasil simulasi, yaitu 116.1 N pada kecepatan 10 km/jam, 322.6 N pada 15 km/jam, dan 464.5 N pada 20 km/jam. Semakin tinggi kecepatan kendaraan, semakin besar gaya redam yang dihasilkan.
3. Respon percepatan untuk *Conventional Shock Absorber* telah didapatkan dari hasil pengujian, yaitu 0.02938 m/s^2 pada kecepatan 10 km/jam, 0.04292 m/s^2 pada 15 km/jam, dan 0.06076 m/s^2 pada 20 km/jam. Semakin tinggi kecepatan kendaraan, semakin besar respon percepatan yang terjadi.
4. Karakteristik gaya redam untuk sistem HMERSA telah didapatkan dari hasil simulasi, yaitu 129.6 N pada kecepatan 10 km/jam, 319.3 N pada 15 km/jam, dan 516 N pada 20 km/jam. Semakin tinggi kecepatan kendaraan, semakin besar gaya redam yang dihasilkan.
5. Respon percepatan untuk sistem 1 *Cycle* HMERSA telah didapatkan dari hasil pengujian, yaitu 0.01772 m/s^2 pada kecepatan 10 km/jam, 0.04064 m/s^2 pada 15 km/jam, dan 0.04183 m/s^2 pada 20 km/jam. Respon percepatan untuk sistem 2 *Cycle* HMERSA telah didapatkan dari hasil pengujian, yaitu 0.02424 m/s^2 pada kecepatan 10 km/jam, 0.04082 m/s^2 pada 15 km/jam, dan 0.05006 m/s^2 pada 20

km/jam. Semakin tinggi kecepatan kendaraan, semakin besar respon percepatan yang terjadi.

6. Daya bangkitan untuk sistem HMERSA telah didapatkan dari hasil simulasi, yaitu 4.08 W pada kecepatan 10 km/jam, 11.2 W pada 15 km/jam, dan 19.22 W pada 20 km/jam.
7. Tegangan bangkitan untuk sistem 1 *cycle* HMERSA telah didapatkan dari hasil pengujian, yaitu dengan variasi kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam berturut-turut sebesar 4.814 V, 5.656 V, 7.274 V pada generator 1 dan 1,727 V, 2,737 V, 4.872 V pada generator 2. Tegangan bangkitan untuk sistem 2 *cycle* HMERSA telah didapatkan dari hasil pengujian, yaitu dengan variasi kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam berturut-turut sebesar 11.34 V, 13.39 V, 13.51 V pada generator 1 dan 5.301 V, 7.094 V, 10.65 V pada generator 2. Semakin tinggi kecepatan kendaraan, semakin besar tegangan bangkitan yang dihasilkan. Generator pertama selalu memiliki tegangan bangkitan yang lebih tinggi dari generator kedua. Tegangan bangkitan yang dihasilkan sistem 2 *Cycle* HMERSA jauh lebih tinggi dibandingkan yang dihasilkan 1 *Cycle* HMERSA.

5.2 Saran

Saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Menghitung secara akurat dimensi dari setiap komponen yang digunakan untuk sistem HMERSA sehingga memudahkan proses perakitan dan meminimalisir kemungkinan adanya komponen yang kurang cocok satu sama lain.
2. Mematangkan perencanaan untuk tahap perakitan sehingga dalam menyusun setiap komponen dapat terukur kekuatan dan ketahanan agar tidak terjadi kebocoran

3. Memperbesar diameter tabung *shock absorber* agar pergerakan aliran fluida lebih cepat menuju generator sehingga dapat menghasilkan energi bangkitan yang lebih banyak.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- [1] The official U.S. government source for fuel economy information, 2013. **Where Energy Goes: Gasoline.** fueleconomy.gov
- [2] Farisah, S. N., Guntur. H. L., 2015. **Pemodelan dan Analisis Pengaruh Variasi Tekanan Awal Akumulator Terhadap Gaya Redam, Daya Listrik Bangkitan, dan Respon Dinami Hydraulic Motor Regenerative Shock Absorber (HMRSA).** Surabaya: Teknik Mesin ITS.
- [3] Zi Xiaolin, Guo X, Xu L. 2014. **Hydraulic Regenerative Shock Absorber.** ELSEVIER.
- [4] Wang, R., Gu, F., Cattley, R., Ball, A. D., 2016. **Modelling, Testing and Analysis of a Regenerative Hydraulic Shock Absorber System.** Energies.
- [5] Zhang, H., Guo, X., Xu, L., Hu, S., Fang, Z., May. 2014. **Parameters Analysis of Hydraulic-Electrical Energy Regenerative Absorber on Suspension Performance.** Hindawi Publishing Corporation.
- [6] Demetgul, M., Guney, I., 2017 **Design of the Hybrid Regenerative Shock Absorber and Energy Harvesting from Linear Movement.** Istanbul: Marmara University.
- [7] Zhang, Z., Zhang, X., Chen, W., Rasim, Y., Salman, W., Pan, H., Yuan, Y., Wang, C. 2016. **A high-efficiency energy regenerative shock absorber using supercapacitors for renewable energy applications in range extended electric vehicle.** Elsevier.
- [8] Syuhri, Skriptyan N. H. dan Guntur, Harus L. 2015. **Studi Pengaruh Perubahan Tekanan Accumulator Terhadap Karakteristik Redaman dan Energi Listrik Bangkitan Pada Hydraulic Regenerative Shock Absorber (HRSA),** Seminar Nasional Teknik Mesin, Surabaya.
- [9] Rao, Singiresu S. 2011. **Mechanical Vibrations Fifth**

- Edition.** Miami: Pearson Education, Inc.
- [10] "Suspension: Simulink Modelling". **Control Tutorials for MATLAB & SIMULINK** <URL:<http://ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?example=Suspension§ion=SimulinkModeling>>
 - [11] Fox dan McDonald's. 2011. **Introduction to Fluid Mechanics Eighth Edition.** Amerika: John Wiley & Sons, Inc.
 - [12] Close, C. M., Frederick, D. K., Newell, J. C., 2002. **Modelling and Analysis of Dynamic System Third Edition.** New York: John Wiley & Sons, Ltd.

BIODATA PENULIS



Roni Yandaka dilahirkan di Jakarta, 5 April 1995 anak yang terlahir dari orang tua bernama Sugiantoro dan Vellyani Wijaya. Riwayat pendidikan penulis diawali di SDK Sang Timur Tomang, Jakarta Barat pada tahun 2001-2007. Penulis melanjutkan pendidikannya di SMPK Sang Timur Tomang, Jakarta Barat pada tahun 2007-2010, kemudian melanjutkan pendidikannya di SMA pangudi Luhur Van Lith Muntilan pada tahun 2010-2013. Selanjutnya penulis

melanjutkan pendidikan jenjang S-1 Jurusan Teknik Mesin di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya melalui jalur SBMPTN.

Penulis aktif dalam kegiatan akademik maupun organisasi selama perkuliahan. Penulis juga pernah menjadi asisten Laboratorium Desain Vibrasi dan Sistim Dinamis. Dalam organisasi kemahasiswaan, penulis aktif menjadi Staff Divisi Bakti Alam Bakti Masyarakat di Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Pencinta Lingkungan Hidup SIKLUS Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan staff Departemen *Unit Big Event* di Keluarga Mahasiswa Katolik pada tahun 2014-2015. Pada tahun 2015-2016, penulis aktif menjadi Ketua Umum UKM Pencinta Lingkungan Hidup SIKLUS Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan Kepala Biro Hubungan Birokrasi dan Alumni di Keluarga Mahasiswa Katolik ITS.

Motto hidup penulis adalah “*Be there the light to serve people and universe*” menjadikan penulis lebih bersemangat dan berusaha keras untuk mencapai sesuatu yang diinginkannya. Untuk semua informasi dan masukan terkait tugas akhir ini dapat menghubungi penulis melalui email roniyandaka@gmail.com.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”